

(Ⅱ－11) 低周波振動状態にある越流水膜の落下軌跡についての実験的考察

建設省土木研究所 正員 ○安達孝実
建設省土木研究所 正員 竹林征三
建設省土木研究所 正員 高須修二

1. はじめに

近年、ダムや堰からの放流時に低周波音や低周波空気振動が発生するという現象が注目されている。この現象は低周波空気振動問題と呼ばれており、現象の把握および有効な対策方法の確立が急務となっている。

本研究では、ダムや堰から放流する状況を想定し、その状況下での低周波空気振動の発生に着目する。特に、実験を通じて、低周波振動状態にある越流水膜の落下形状及びその軌跡について詳細にわたる現象分析を行う。さらに、低周波空気振動に影響を及ぼす要因についても検討を行う。

2. 実験方法および実験装置

ここでは、本研究で使用する2種類の水理模型実験装置について説明する。これらは、越流水膜が低周波振動する状況を実験的に生起させるための装置である。2種類の実験装置は縮尺の点で異なっており、図-1を大型実験装置、図-2を小型実験装置と呼ぶこととする。大型実験装置は実機での現象再現を念頭においているのに対し、小型実験装置は現象をより詳細に把握することを目的とする。

大型実験装置は最大落下高 $H=4.21\text{m}$ 、越流幅 $B=3.90\text{m}$ の越流型ゲート模型で、ゲートに相当する部分は、刃型堰を水面に対して 45° の起立角で固定し、ゲート部は振動しないようにした。越流端部には側壁を設け、閉空間を形成させるものとした。これに対し、小型実験装置は最大落下高 $H=0.9\text{m}$ 、越流幅 $B=0.3\text{m}$ の越流型ゲート模型で、大型実験装置と同様にゲートに相当する部分には刃型堰を 45° に固定し振動しない状態にした。

これらの実験装置を用いて、水膜の瞬間的な振動形状を把握するだけでなく、水膜によって形成される閉空間内での空気挙動、および水粒子単位での落下軌跡についても検討する。

3. 実験結果および考察

最初に、瞬間的な越流水膜の形状について検討する。この実験については、実機での現象を可能な限り再現できるよう、大型実験装置を使用した。側面から水膜の瞬間的な形状を測定すると、図-3に示す通りとなる。水膜は各流量に対して、ある位置を境界として、その上部は穏やかな振動を行うのに対して、下部では激しい低周波振動を行った。さらに、正面から観測すると、水膜は完全な膜ではなく、低周波振動が顕著となる部分で縦方向の裂部を有する不完全な膜であることも確認された。すなわち、図-3に示した境界点以下の部分で不完全な膜となっているのである。なお、この現象は図-3に示した3流量以外の場合に対しても当てはまった。逆に、水膜が不完全とならない場合には、低周波振動現象は顕著にはならない。

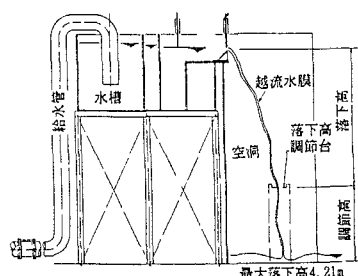


図-1 大型水理模型実験装置諸元



図-2 小型水理模型実験装置諸元

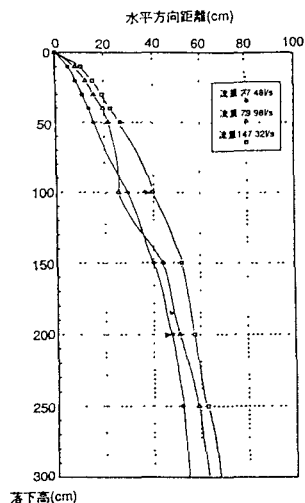


図-3 低周波振動状態にある越流水膜の瞬間的な形状

次に、水膜形状と水膜によって形成される閉空間内部の空気の挙動との関係について考える。まず、裂部に発煙筒を接近させ、その煙の挙動を観察することによって、閉空間内部の空気の挙動や外部との空気移動の有無を調べた。その結果、空気の挙動は図-4に示す通りとなり、特に、水膜の裂部上部は空洞外部から内部への空気供給の役割を果たすことが明らかとなった。また、衝突と同時に空洞内部の空気が放出されていることも、煙の挙動から確認された。裂部のない完全な水膜である場合には低周波振動現象が生じにくいことから、閉空間内部では大気は一樣な状態でなく、水膜裂部を通じての閉空間内外の空気移動が起こることで、さらに水膜が低周波振動を生じやすい状況と創出している。また、裂部の位置や面積は、水膜形状を左右する要因の一つであると考えられる。

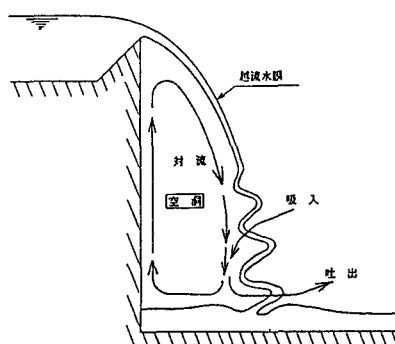


図-4 閉空間内部及び外部の空気の挙動

さらに、瞬間的な水膜形状だけでなく、水膜を形成する粒子単位での落下軌跡を把握することを考える。この実験は、現象をより詳細に捉える必要があるため、小型模型を使用した。小型模型を使用した実験では、通常は越流水膜が自動的に低周波振動しないため、送風を行って強制振動させることとした。その状況下で、水膜の放流点から蛍光粒を落下させ、その軌跡についての分析を行う。流量は2.0l/sとする。

その結果、瞬間的にみた水膜形状は非常に大きな湾曲を有するにも関わらず、粒子の挙動を示す蛍光粒の軌跡は図-5のように軽度の振動を伴った放物線となった。また、全ての水粒子が同一の挙動を示すというわけではないことも図-5の蛍光粒1及び蛍光粒2の軌跡から明らかである。これらの軌跡形状は軽度の振動を伴った放物線であるという点で非常に類似するものの、最終落下地点が大きく異なっている。そのため、低周波振動状態にある水膜は非常に複雑な挙動を示すものの、水膜を構成する粒子は見かけほどは複雑な挙動をとらないことから、各粒子の落下軌跡の差異が水膜の複雑な挙動に大きく関与しているものと考えられる。

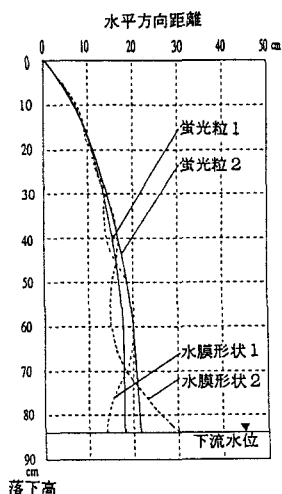


図-5 低周波振動状態にある越流水膜の瞬間的形状と水粒子の落下軌跡の比較

4. おわりに

今回は、ダム及び堰の低周波空気振動問題について、低周波振動状態にある越流水膜の落下形状等を実験的に検討した。その結果、越流水膜によって形成される内部空間においては、空洞内で対流するだけでなく、外部空間との空気の移動があることが明確になった。特に、水膜上に存在する裂部は空気供給源としての役割を果たし、その部分では空気は外部から内部への一方的な挙動をするという点が新たに確認された。また、水膜の瞬間的な形状と粒子単位でみた落下形状には大きな差異があることも結果として獲得できた。

今後は、低周波振動状態にある越流水膜の落下形状について理論的なアプローチを行う必要がある。特に、越流水膜を構成する水粒子の挙動及びその落下軌跡について理論的に考察し、同時に周波振動状態にある水膜の瞬間的形状との関係を検討していく方針である。また、放流時に発生する低周波空気振動音についても実験的及び理論的な検討を行い、ダム及び堰の低周波空気振動問題を解決していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 竹林・角・箱石 堰などからの放流に伴う低周波振動の発生機構 ダム技術 NO. 71, 1992
- 2) 角・大久保・中島 越流式ゲートの越流水膜振動特性 土木研究所報告第185号, 1991