

II-174 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

建設省土木研究所 正員 ○安達孝実

建設省土木研究所 正員 高須修二

(株)栗本鐵工所 正員 河合廣治

1. はじめに

ダムや堰からの放流時に低周波空気振動を生じるケースがあることは古くから報告されている。低周波振動の代表的なものに、越流堰からの薄層放流とダムのコンジットからの放流が挙げられるが、いずれも発生メカニズムは解明されていないのが現状である。

本研究では、実現象を把握するための第一段階として、越流堰を取り上げ、水膜により閉塞された空洞のある場合について、模型実験で現象を再現し、水膜の落下軌跡、音圧レベルの変動・分布、空洞内の空気圧力及び水膜の落下状況から低周波振動の発生源と発生メカニズムについて検討を行った。

2. 実験方法および実験装置

本実験に使用する越流水膜模型実験装置を図-1に示す。この実験装置は実機での現象再現を念頭において、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とし、越流部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。また、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。

実験はこの装置より全幅越流させ、越流水深を $2.0\sim 10.5\text{cm}$ の間で変化させ、越流水膜の軌跡、音圧レベルの変動・分布、空洞内の空気圧力の測定を行った。

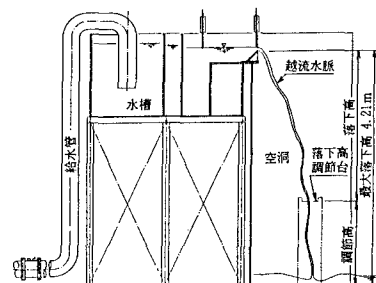


図-1 越流水膜模型実験装置

3. 実験結果および考察

3.1 水膜の落下軌跡および飛翔距離

実測された水膜落下軌跡は図-2に示すように、自由落下曲線に比べ遠くへ飛翔することが確認された。なお、一点鎖線で示す自由落下曲線は、越流点の流速で水平方向へ放出されるものとして算出した。

この現象の要因として①空洞内空気圧力の影響と②落下速度の鉛直成分が自由落下の場合よりも小さいことが考えられる。空洞内空気圧力は図-3に示すように、正圧越流水深 $h_0=6.5\text{cm}$ 以下の空洞上部に限られているが、飛翔距離が伸びる現象は全ての越流水深において確認されるため、①は主要因ではないと考えられる。むしろ、落下速度の低下は全ての越流水深に共通する要因であり、飛翔現象の主要因となる可能性がある。

そこで、落下軌跡より落下速度および加速度の鉛直成分を算出すると図-2のとおりである。すなわち、水膜の落下過程で、落下速度は「加速域」「定速域」「減速域」の3領域を経ており、自由落下の場合よりも落下速度の鉛直成分が小さいことが確認された。

3.2 音圧レベル分布および音源

空洞外の音圧レベル分布は図-4に示すように、水膜の下部水面への突入点を中心とする円弧状の等レベル線が見られる。音圧レベルは音源からの距離の増加により減衰する性質があるため、円弧中心である水膜

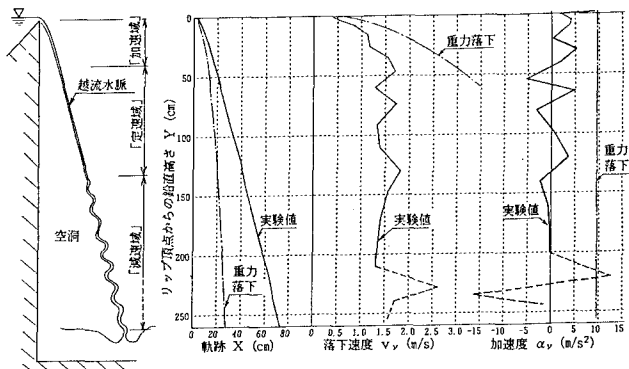
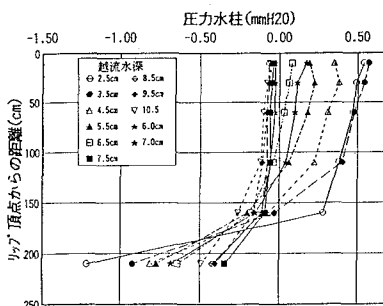
図-2 水膜の落下軌跡、落下速度、加速度(越流水深 $h_0=2.50\text{cm}$)

図-3 越流水深と空洞内圧力分布との関係

の下部水面への突入点が音源であると考えられる。

3.3 低周波空気振動音の発生メカニズム

以上の音源および落下速度の変化より、低周波振動音の発生メカニズムは次のように考えられる。

- ① 水膜は放出後、「加速域」で落下速度が増加する。
- ② 水膜の落下速度が増加することで、空気によるせん断抵抗力が増加する。同時に、落下とともに水膜が薄くなるため、単位質量あたりのせん断抵抗力が増加する。そのため、加速度が低下し、重力とせん断抵抗力がつりあった位置で加速が止まり、ほぼ定速で落下する。
- ③ 水膜のわずかな変動により、さらにせん断抵抗力が増加する。加速度が負になると減速するが、一度薄くなった水膜は厚くなることはなく、水膜にシワが発生する。このシワによって周囲の空気が巻込まれる。
- ④ 水膜のシワは波形に成長し、空気を巻込んだ状態で下部水面に突入し、この時周囲に空気を放出し空気振動を生じさせる。

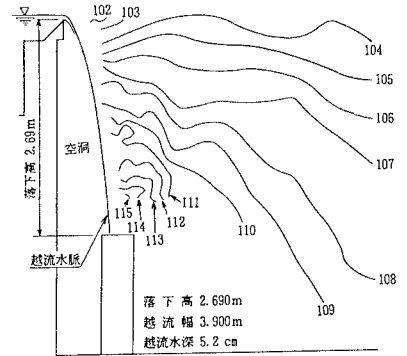


図-4 音圧レベルの分布

3.4 音圧レベルと水膜落下速度

音圧レベルは、図-5に示すように越流水深 $h_0=6.5\text{cm}$ でピークを生じる変化を示すことが確認できる。この現象は、水膜落下速度および水膜屈曲波形より次のように考えることができる。

越流水深が小さく水膜が薄い場合は、水膜の質量当たりの表面積が大きく、重力に対する空気抵抗力が大きくなる。このため、落下速度が小さい段階で重力と抵抗力がつりあい、バランス後の落下高が長くなる。従って、下部水面への突入速度が小さくなり、音圧レベルは小さくなる。

越流水深 h_0 が $4.0\sim 8.0\text{cm}$ 付近では水膜が比較的厚く、重力に対する空気のせん断抵抗力が小さくなり、重力とせん断力とがつりあうまでに十分加速される。また、その後の落下高も十分であるため、十分な屈曲波形が形成される。この時の音圧レベルは、突入速度、空気巻き込み量がともに大きいため、最も大きくなる。

越流水深が大きく水膜が厚い場合は、重力に対する空気のせん断抵抗力が小さくなり、下部水面への突入直前まで加速され、突入速度が大きくなるが、顕著な屈曲波形は形成されない。従って、落下エネルギーは大きい空気巻き込み量が小さいため、ピーク時に比べると音圧レベルは低下する。

4. おわりに

本研究により、水膜で閉塞された空洞のある場合について、低周波振動の音源および発生機構に関する次の説を提案する。

- ① 低周波振動の音源は、水膜の下部水面への突入点である。
- ② 水膜が落下する過程で、落下速度は「加速域」「定速域」「減速域」の3領域を経る。
- ③ 「定速域」から「減速域」への移行点で落下速度は最大となり、水膜に水跳ね現象を生じ、屈曲波形を発生する。
- ④ 低周波振動は、水膜の屈曲波形に巻込まれた空気が、下部水面突入時に放出されることにより発生する。

今回の検討において最も重要な要素である落下速度は直接測定されたものではなく、落下軌跡より算出したものであるため、今後の課題として水膜の各位置の落下速度を直接測定し、再確認を行う必要がある。

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

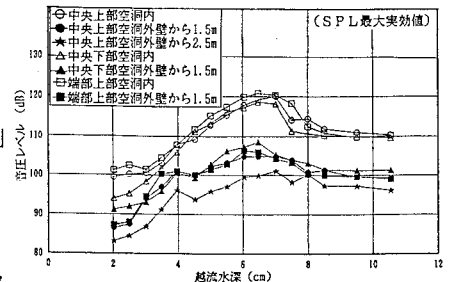


図-5 越流水深と音圧レベルとの関係