

函館高専○飯田耕輔, 函館高専 小松聖司, 函館高専 本村真治

要 旨

本研究で対象とする魚道では特殊なプール形状に起因する大きな液面振動が発生する. 本研究では模型実験により魚道内の流量と液面振動周波数の関係を調べた. また, 魚道底部に設置した整流板の効果を検討した結果, 液面振動のピーク周波数に変化が見られ, 防止対策として有効であることがわかった.

1. 緒言

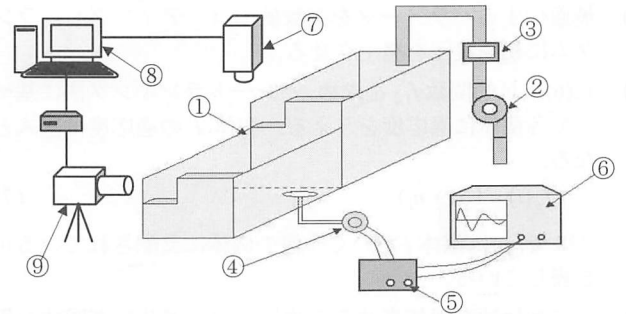
函館市内の川汲川に設置されている魚道(以下, 川汲魚道)では, 流量の変化に応じて魚道プール内の液面が大きく振動する現象が生じて, この液面振動現象が魚類等水生移動性生物の遡上降下性に及ぼす影響が懸念されている. 液面振動が生じた場合, 魚道内の流れにおいて幅方向の流速変動が発生し, また隔壁を越える流れで周期的なはく離を生じるなど, 魚類の遡上行動へ何らかの悪影響を及ぼすものと考えられることから, 流況の改善が望まれている.

本研究の目的は, 川汲魚道で生じる液面振動の抑制であり, 模型実験により魚道内の流量と液面振動周波数の関係を調べた. またプール底部に整流板を設置し, その効果を検討した.

2. 実験装置および方法

川汲魚道は延長 110m, プール幅 1.5m×長さ 3.25m, 隔壁幅 0.5m, プール数 28 個, 勾配 1/15 の階段式魚道である. 隔壁上端には台形状の切欠が設けられ, さらに隔壁からプール下流側に向かって流れ方向に非対称なスロープが設けられた複雑な形状となっている. 図 1 に川汲魚道をモデルとして製作された魚道模型1ユニットの概略図を示す. 模型の形状は実物の川汲魚道の形状にほぼ一致させ, 縮尺は約 1/15 とした. 1ユニットの長さは 250mm, 幅は 100mm, プール深さは 50mm であり, 実験ではこのユニットを 10 段組み合わせて魚道模型を構成した.

実験で使用した測定機器等の構成を図 2 に示す. 貯水槽からポンプ②によった汲み上げられた水を魚道模型①へ給水し, 模型から流出した水は貯水槽へ戻る循環式とし, 流量計③で流量を測定した. 液面の振動はプール底面に設けた圧力測定孔の圧力を圧力センサ④によって測定し,



- ①魚道模型
- ②ポンプ (Pondy SM-525 H=5m, Q=53ℓ /min)
- ③流量計 (KEYENCE FD-82)
- ④圧力センサ (Validyne DP45-14-A-1-S-4-D)
- ⑤アンプ (Validyne MODEL CD15)
- ⑥F F T (YOKOGAWA SA2400)
- ⑦C C Dカメラ (NEC NC-16TC)
- ⑧P C (画像処理装置 HITACHI IP5010)
- ⑨高速度カメラ (Photron FASTCAM-PCI R2)

図 2 実験装置概要

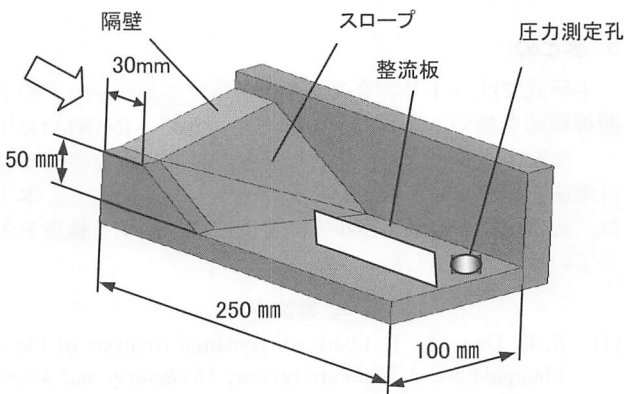


図 1 魚道模型 (1 ユニット)

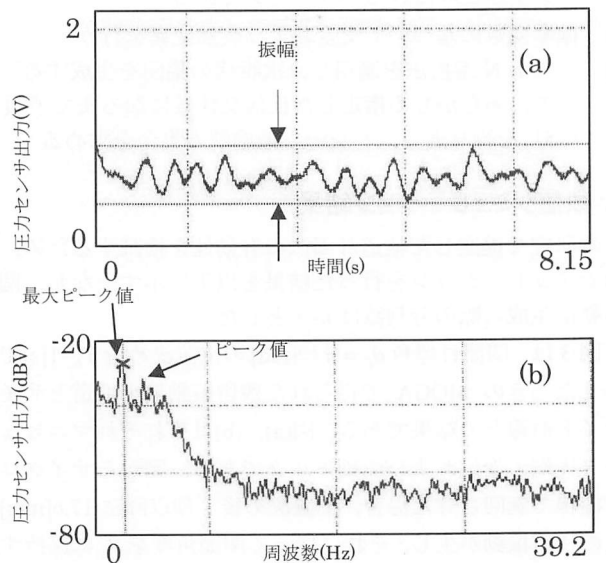


図 3 プール底面圧力変動の測定例

センサ⑤からの電圧出力をFFT⑥を用いて解析した。図3に測定結果の一例を示す。(a)は圧力の時間変化で、(b)は圧力センサからの出力電圧のパワースペクトルである。図3のように、液面振動周波数にはいくつかのピークを確認できるが、最大値を示すピーク周波数を液面振動の周波数とした。

3. 結果と考察

プール内に整流板を設置しない場合について液面振動周波数を測定した結果を図4(a)に示す。液面振動周波数を見ると、流量6 (ℓ /min) までは、約2.5(Hz)の一定周期で振動し、7(ℓ /min)で周波数変化が生じ、流量8~12では、約2.75(Hz)の一定周波数で液面が振動している様子が示されている。また、流量13~14(ℓ /min)で再び周波数変化が起こり、流量15(ℓ /min)以上では約1.7(Hz)で一定となった。

このような周波数の変化は、液面振動のモード変化を示すものだと考えられる。

$$f^2_{m,n} = (g/4\pi)\sqrt{(m/W)^2 + (n/L)^2} \times \tanh\{\pi h\sqrt{(m/W)^2 + (n/L)^2}\} \dots (1)$$

- g : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)      W : 幅方向の長さ(m)
- m : 幅方向の振動モード      L : 長手方向の長さ(m)
- n : 長手方向の振動モード      h : 水深(m)

(1)式は矩形容器内で発生するスロッシング<sup>1)</sup>の固有振動数の計算式で、液体の粘性や表面張力を無視している。mは幅方向、nは長手方向の振動モードである。(1)式に魚道模型の寸法と各流量に対応する水深を代入し、各振動モードに対する固有振動数を算出した結果を図4中に実線で示した。矩形容器のスロッシングの固有振動数と本実験で観測された液面振動のピーク周波数を比較すると、ほぼ近い値となっていることから、矩形容器のスロッシングと魚道模型で生じる液面振動は類似した現象と考えることができ、(1)式を今回の模型実験に適用できると考えられる。すなわち、流量7~14(ℓ /min)で生じる約2.75(Hz)の液面振動は幅方向と長手方向のどちらの方向にも一次の振動モードで液面振動が発生している状態であり、流量14(ℓ /min)付近で、振動モードが切り替わって横方向の振動がなくなり、振動周波数が急激に低下したと考えられる。なお、川汲魚道の現地観測においても液面振動のモードの切り換わりが観察されており、低流量時に大きな液面振動が発生し、流量が約160(ℓ /s)を超えた場合、液面振動非常に小さくなる。このモードが切り換わる流量をフルード数( $v/\sqrt{gL}$ )による相似則<sup>2)</sup>を用いて模型実験における流量に換算すると約11(ℓ /min)に相当し、切り換わり流量に若干の差はあるが、模型実験で実際の現象を再現できているものと判断できる。

次に魚道内の幅方向の振動の抑制対策としてプール底部に整流板を設置した場合の実験結果を図4(b)に示す。今回用いた整流板は長さ100(mm)、高さ20(mm)のアルミ板で主流と平行にせきの上流側に設置した。流量6(ℓ /min)において一部高い周波数が見られるが、実験流量範囲のすべてにおいて、液面振動の周波数は約1.7(Hz)でほぼ一定となった。

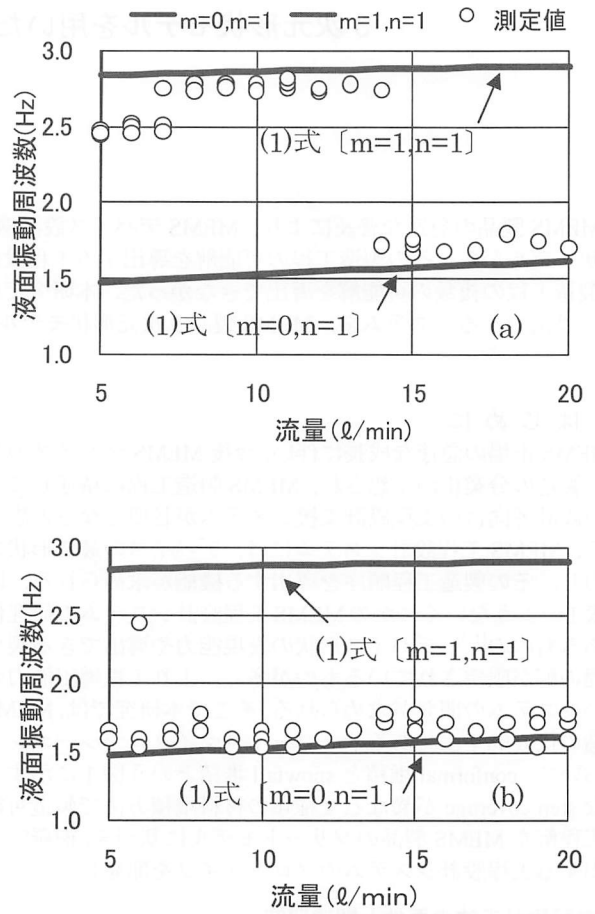


図4 流量と液面振動周波数の関係

この周波数は幅方向の振動モード m=0、長手方向の振動モード n=1 の時の矩形容器におけるスロッシングの固有振動数と非常に近い値を示していることから、整流板を設置することによって幅方向の液面振動を抑えることができたものと考えられる。プール内流れの可視化<sup>3)</sup>によれば、流側壁隔壁を越えた落下流がプール底部へ流れ込み、底面に沿って流れた後、下流側隔壁に衝突して上昇し、次段プールへと流出する流れと、下流側隔壁に沿って底面を逆流する流れに分岐することがわかっており、本実験で設置した整流板により、この底面逆流を防止することが液面振動抑制に効果的と判断することができる。

4. 結言

川汲魚道で生じる液面振動の抑制を目的として模型実験を実施した結果、プール底面に設置した整流板が、プール底面における幅方向の流れを抑え、液面振動の抑制に効果的であることがわかった。今後、より最適な整流板の寸法について検討を進め、実際の川汲魚道で発生している液面振動の抑制に取り組む予定である。

参考文献

- [1] 日本機械学会編, A5 流体力学(日本機械学会)
- [2] 廣瀬利雄他, 魚道の設計(山海堂)
- [3] 柳田 他, 函館高専卒業研究論文, 2007. 3