

プール式魚道における水中音の周波数特性とエネルギー減衰量の評価

(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 学 ○藤井貴洋・学 遠藤壮啓
 同上 専攻科 学 久保志緒里・正 和田 清
 河川生態環境工学研究所 正 中村俊六

1. はじめに

近年,多くの河川には魚道が設置され,回遊魚の遊泳能力(突進速度など)との関係で魚道設計が実施されてきた.魚類がプール式魚道を通る困難さは,魚道内の乱流および気泡の含有量とともに増大すると考えられ,流量,水位差,プール内体積などを用いた散逸仕事率 P_v の大小によってプール内の攪乱状態の指標化¹⁾が行われている.一方,プールの役割は,堰の越流から生じるエネルギーを渦・乱流,音,熱などの散逸過程を通じて減勢すること,魚類の遡上経路に隣接して十分休憩可能な場所の確保などである.そこで本研究では,散逸仕事率という単純な流れのエネルギー指標ではなく,騒音に満ちた魚道プール内の状況を,水中音響の空間的な広がり方と関連づけて,プール内のエネルギー減衰や休憩場所の存在などを総合的に評価する方法を見出そうとするものである.具体的には,室内実験により,階段式魚道内の水中音を流量,プールの間隔ごとに,また,現地調査では,魚道のタイプ別に測定して,音圧スペクトル解析結果などから,音圧レベル特性とプール内における散逸仕事率 P_v の関係を明らかにする.

2. 実験および調査方法

(1)実験水路による水中音の計測

代表的な階段式魚道の水中音を計測し,音圧レベル特性とプール内における散逸仕事率 P_v の関係を把握するために,水理実験を実施した.可変勾配開水路(幅 40cm,高さ 40cm,長さ 15m)の中央部に,二ヶ所の隔壁部(高さ 15,25cm,厚さ 5cm,間隔 25, 40, 70cm)を設置し,その区間内に小型水中マイク(オキシテック製, OST2130 型)などを固定した.水中音響測定システムは,水中マイクから SC ボックス, AD 変換を通じてノートパソコンに入力され, LabView(水中音響アナライザ)によりモニター出力されている.なお,気泡混入などの状況は水中ビデオにより記録した.計測位置はプール内の越流直下(隔壁下流端)と,越流エネルギーが減勢した隔壁下流端の二ヶ所で計測し,流量(1.2~7.3L/s),プール(隔壁)間隔別に測定を行った.

(2)揖保川魚道群における現地調査

兵庫県西部を南北に流れる揖保川(一級河川)には数多くの魚道が点在し,魚道全体を「魚道システム」として捉えて,平常時だけではなく増水末期を考慮した魚介類の遡上・降下するための改善が試みられている.対象とした魚道は,河口から 36km 地点の河東統合頭首工左岸(ノルウェー型)であり,プール形状が異なるために魚道流量が一定でもプール内の流況に差異があることが特徴である.このノルウェー型は,従来のアイスハーバー型を改良し,流れの直進性とプール内減勢とのバランスを考えた階段式魚道である.他にも吉島統合頭首工(斜隔壁式),片島井堰(導流壁式)において実測(2008 年 10 月 27~28 日)を行った.なお,水中音響測定システムは,水理実験と同じものを使用した.

3. 結果および考察

(1)散逸仕事率と音圧レベル

回遊魚が通過する困難さは,プール内の乱流および気泡とともに増大すると考え,プール内の攪乱レベルを簡単な指標で表したものが散逸仕事率 P_v であり,次式で定義される¹⁾.

$$P_v = \frac{\rho g Q \Delta H}{V} \dots\dots\dots (1)$$

ただし, P_v : 単位体積当り散逸仕事率 (W/m^3), ρ : 水の単位体積当り質量, g : 重力加速度, Q : 魚道内の流量 (m^3/s), ΔH : 2 プール間落差 (m), V : 対象プール内の水体積 (m^3)

式(1)からわかるように,流量や水位差が大きく,プール内の水体積が小さければ, P_v の値は増大することになる.この基準を用いると,サケ科の魚道の場合, P_v の上限値は $200 W/m^3$, 小型魚の場合 $150 W/m^3$ 未満でよいとされている¹⁾.

図-1 は,水理実験における隔壁下流端(高さ 25m, 間隔 40cm)の散逸仕事率 P_v と,水中音の実測値から求められる

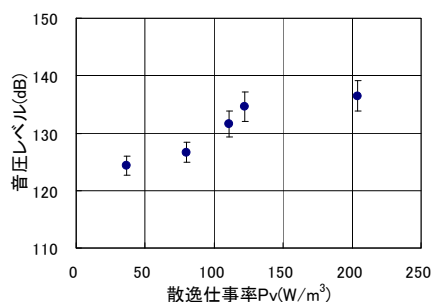
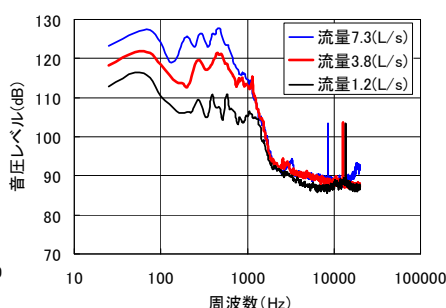
図-1 散逸仕事率 P_v と音圧レベル(実験)

図-2 流量別周波数特性(高周波数)

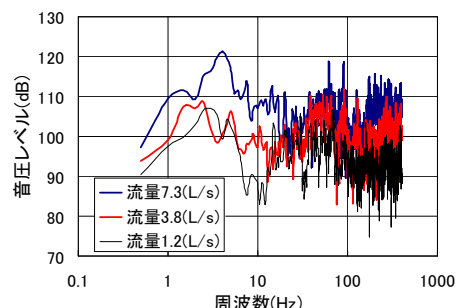


図-3 流量別周波数特性(低周波数)



河東統合頭首工(揖保川)

図-4 対象魚道(ノルウェー式)

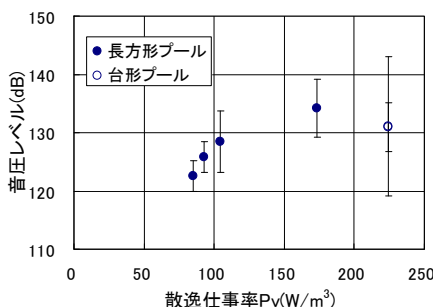
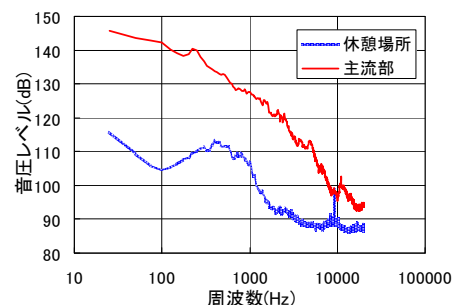
図-5 散逸仕事率 P_v と音圧レベル(現地)

図-6 主流部と休憩場所の周波数特性

overall 音圧レベル(dB)の関係を示したものである。同図からわかるように、越流直下では、散逸仕事率 P_v が大きくなるにつれてプール内の水中音の音圧レベルも増大し、流量増加によって越流エネルギーと水中音が大きくなる傾向を示している。一方、堰直下における水中音の音圧レベルの周波数特性について、流量別に示したものが図-2,3 であり、図-2 は高周波数側(20kHz 以下)、図-3 は低周波数側(0.4kHz 以下)の分解能を高めて表示した音圧スペクトルである。なお、データは rms による平均処理(Hanning Window: データ数 250) 化後の値である。同図から、2~3kHz 以上の高周波数帯では、流量による音圧レベルの差異は小さくその絶対値も低いことがわかる。また、1kHz 以下の低周波数帯では、流量による音圧レベルの周波数依存性が強く、その絶対値も大きい。特に、流量が大きい場合には、ある特定の卓越周波数(100Hz 程度)の発生と可聴域以下の超低周波音(20Hz 以下)の増加の可能性を示唆しているものと考えられる。

(2) 揖保川魚道群における現地調査

図-4 は、ノルウェー式魚道の状況を示したものであり、対象魚道における散逸仕事率 P_v と水中音の実測値から求められる overall 騒音レベル(dB)の関係を示したものが図-5 である。なお、対象魚道はプール形状が異なるため、長方形、台形が存在する。長方形プールは二箇所の平均値、台形プールは各点の値に変動幅を考慮して図示した。同図より、長方形プールでは、散逸仕事率 P_v が大きくなるにつれてプール内の水中音の音圧レベルも増大する傾向を示している。また、台形プール内はゆらぎが大きく、流況の変動が激しいことなどから、変動幅が大きく散逸仕事率 P_v と音圧レベルの相関性が低くなっている。一方、導流壁式(片島井堰)について、同一プール内の主流部と休憩場所の音圧レベルの周波数特性を示したものが図-6 である。同図から、主流部と休憩場所では、ほぼ全周波数帯で音圧スペクトルの形状に大きな違いがあり、この水中音響の空間的な差異が大きいほど休憩場所として機能していると考えられる。なお、同一魚道内の勾配が急変している下流プールでは、強い渦流のために休憩場所が無く、その場合の2箇所の音圧スペクトルには大きな差異が無いことが確認されている。

4. おわりに

以上述べたように、騒音に満ちた魚道プール内の状況を散逸仕事率と音圧レベルを関連づけ、プール内のエネルギー減衰や休憩場所の存在などを水中音響の空間的な差異から評価する試みを示した。今後は、室内実験により、流量、プールの間隔別に、流速、乱れ強度と音圧レベルの関係を明らかにしながら、現地調査では、魚道のタイプ別の音圧レベルとプール内における散逸仕事率 P_v の検証データを蓄積する予定である。

【参考文献】 1)C.Gosset et al. 著(中村俊六ほか監修): 魚道及び降下対策の知識と設計, 財団法人リバーフロント整備センター, p.89, 1996.