

低落差の堰における落下水騒音の特性と対策について

THE CHARACTERISTIC AND THE MEASURE OF FALL WATER NOISE IN THE FLOODGATE OF A LOW FALL

関谷 明¹・宮田 司¹・高田保彦²・田代洋一²
Akira SEKIYA, Tsukasa MIYATA, Yasuhiko TAKADA and Youichi TASIRO

¹ 正会員 建設技術研究所 水理室 (〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ嶺 1047-27)

² 正会員 土木研究センター 研究開発一部 (〒110-0016 東京都台東区台東 1-6-4 (タカラビル))

The noise caused by falling water from a floodgate with a low fall is investigated. In a small-scale waterway, the waterway is often located very close to a residential area, and thus measures against noise are required.

The characteristics of the noise of the floodgate with a drop difference were studied to find a solution. Sound source becomes a line source. The location of sound source becomes at a falling point of flow.

The causes of noise are classified into the sound generated at the falling point of running water, and the sound due to vibration of the water membrane as well as the sound generated when water stored behind water membrane is flowed downstream.

In a falling point, the configuration permitting air supply is effective as the case in which a spoiler is densely installed.

Key Words : Falling water sound, Sound pressure, *G* property, Line source

1. はじめに

現在、堰等からの落下水による騒音が問題となっている。これら流水音は、可聴音のみならず低周波音を発生させるため、防音壁のような伝播過程における対策ができない。

これに対し、落下水自体の振動(水膜振動)については竹林、角等^{1) 2) 3) 4)}や後藤等^{5) 6)}が研究を行っている。対策としては、越流部にスポイラを設ける方法が一般的となっている。しかし、スポイラは大規模な堰等には設置され効果をあげているが、規模の小規模な水路や低落差の堰等については、対策が施されていない場合が多い。

小規模な水路の場合、住宅が近接している場合が多いため、周辺住民からの騒音対策要請が高まっており、対策が急務となっている現状である。

本研究は、このような低落差の堰における騒音対策に際しての指標を得ることを目的としたもので、騒音の特性と発生要因及び対策方法について検討した結果を報告するものである。

2. 検討概要

本研究では、現在、水路沿いに住宅が隣接し、落下水音が問題となっている地域を対象に、騒音レベルの値を調査した。次に水理模型実験により低落差の堰における流況と騒音特性の関係を整理し、現地

にける騒音の発生要因解明の指標を得るものとした。最後に対策として、スポイラと落下点に着目した騒音対策の可能性について調査した。

現地調査では、図-1, 2 に示す①幅 2.6mの水路に落差 1.5mの堰と②幅 4.0mの水路に落差 1.7mの落差工の 2 箇所を対象とした。調査は、夏季の平常時に行った。

実験では、図-3 に示す幅 3.0m の 2 次元水路に高さ 0.5m, 1.5m の 2 種類の堰を設けた施設で検討した。

音圧レベルは、堰の下流 1m 地点において 100Hz 以下を低周波騒音計, 100Hz 以上を精密騒音計にて計測し、低周波は *G* 特性, 可聴音は *A* 特性として整理した。計測は、1 箇所につき 1 秒間 25000 データ (1~12.5KHz 周波数範囲), 60 秒間とした。

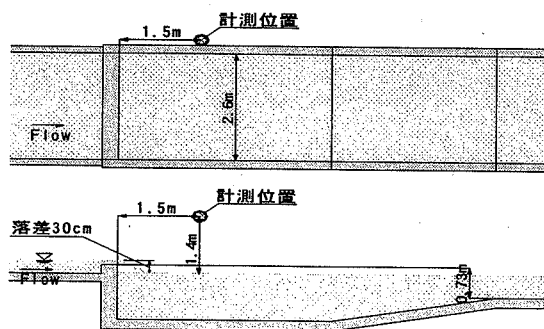


図-1 A水路の概要

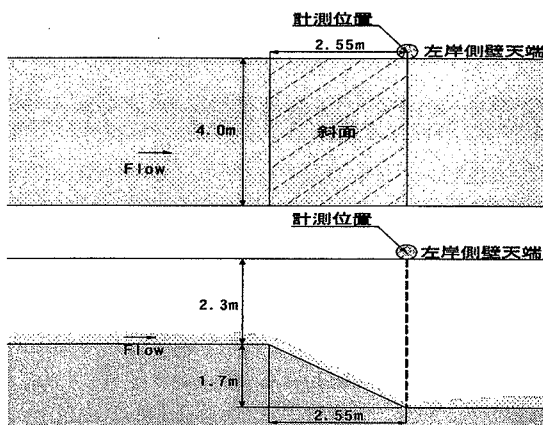


図-2 B水路の概要

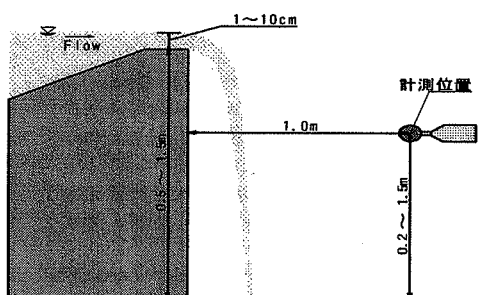


図-3 実験模型と計測概要

3. 低落差堰の発生騒音の現状

(1) 騒音規制値

騒音規制値は、地域の都市計画上の区分や各都道府県でも異なるが、一般的には、表-1 に示す A 特性値となっている。

G 特性は、現在、国内における規制基準は無いが、80~100dB が一つの基準になるとされている。^{6), 7)}

(2) 調査結果

a) A 水路

調査時の条件は、流量が約 2m³/s、水位差 0.3m であった。結果、図-4 に示すように落下点での A 特性値で約 76dB、G 特性値で約 74dB を示し、第 4 種の昼間の基準値を上回ることが確認できた。

b) B 水路

調査時の条件は、越流水深約 5cm の斜面流であった。結果、図-5 に示すように跳水位置での A 特性値で約 79dB、G 特性値で約 62dB を示し、第 4 種の昼間の基準値を上回ることが確認できた。また、人家の庭先においても約 60dB の A 特性値が観測された。

c) まとめ

低落差の堰でも A 特性値の基準を満足しない騒音が発生すること確認でき、同等程度の堰において新たな問題となる可能性が高いと考えられた。

4. 低落差堰の騒音特性

(1) 越流水深と騒音レベルの関係

実験では、越流水深を 2cm から 10cm まで変化させ、

表-1 騒音規制値

時間帯	区域区分			
	第1種	第2種	第3種	第4種
昼間	50	55	65	70
朝	45	50	60	65
夕	45	50	65	70
夜間	40	45	55	60

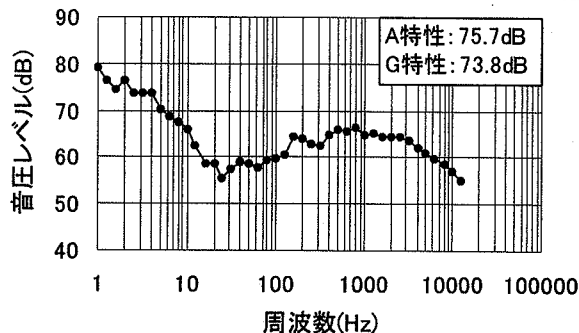


図-4 A 地点での周波数特性

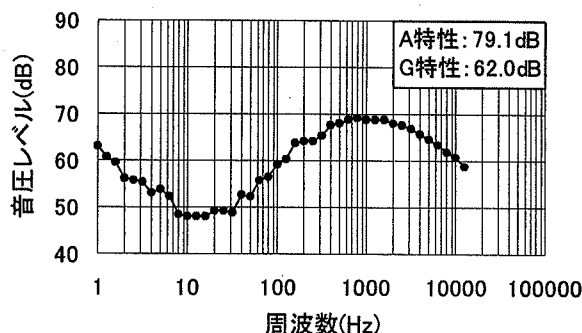


図-5 B 地点での周波数特性

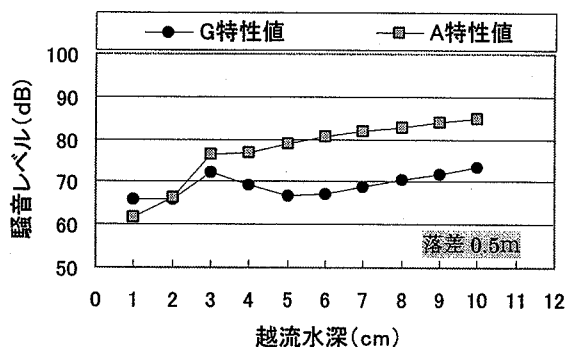


図-6 越流水深と騒音レベルの関係 (落差 0.5m)

騒音レベルを調査した。

a) 落差 0.5m の場合

越流水深と可聴音域、低周波音域の関係を図-6 に示す。越流水深毎の周波数特性を図-7 に示す。

これより、A 特性値は越流水深増加に伴い高くなる傾向を示し、G 特性値は越流水深 3~4cm で約 70dB 程度まで上がり、5cm で低下後、越流水深の増加に伴い高くなる傾向がみられた。

また、100Hz 以上の音は、越流水深が高い方が高い音圧レベル値を示すが、10Hz 以下では越流水深 3.0cm 時で音圧レベルが高くなる傾向がみられた。

b) 落差 1.5m の場合

越流水深と可聴音域、低周波音域の関係を図-8 に

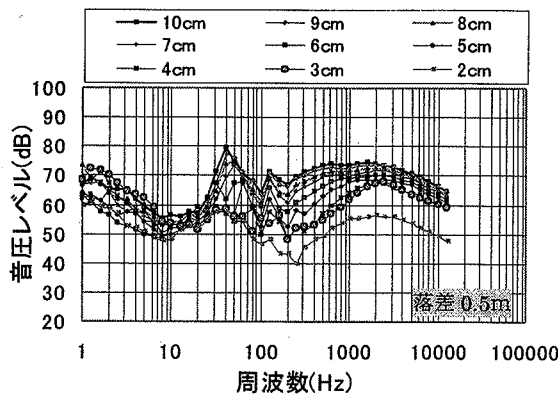


図-7 越流水深毎に周波数特性 (落差 0.5m)

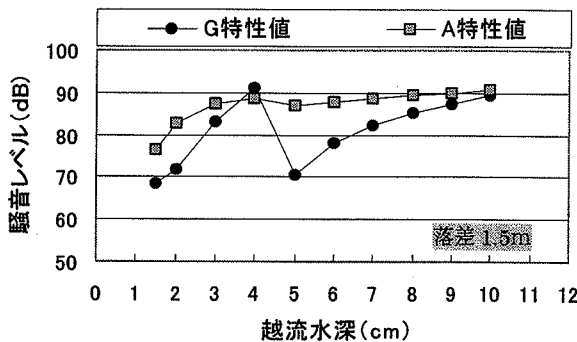


図-8 越流水深と騒音レベルの関係 (落差 1.5m)

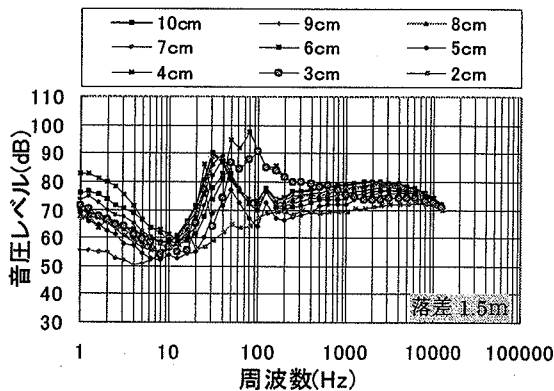


図-9 越流水深毎に周波数特性 (落差 1.5m)

示す。越流水深毎の周波数特性を図-9に示す。

これより、A 特性値は越流水深増加に伴い高くなる傾向を示し、G 特性値は、越流水深約 4cm で高くなり約 90dB を示す。越流水深 5cm で低下した後、再度、増加傾向を示した。

また、1000Hz 以上の音は、越流水深が高い方が高い音圧レベル値を示すが、1000Hz 以下の周波数帯では、越流水深が 3cm、4cm の場合に高い値を示した。

c) まとめ

基本的に可聴音、低周波音は、落下点において落下のエネルギーに支配され発生するが、越流水深が 3～4cm の範囲では、水膜振動が加わるため、低周波音対策も必要となる。

(2) 発生騒音の種類

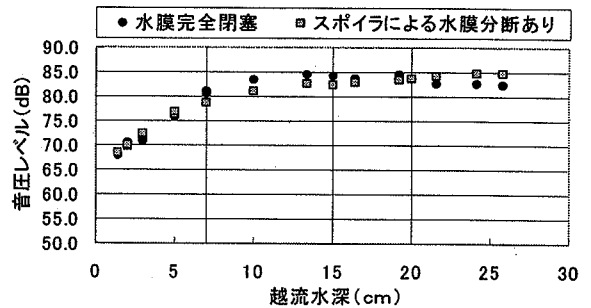


図-10 越流水深と可聴音圧レベルの関係

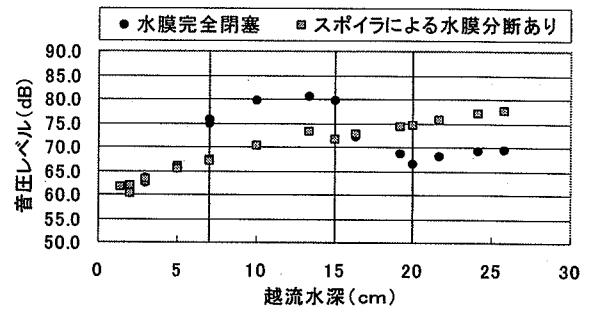


図-11 越流水深と低周波音圧レベルの関係

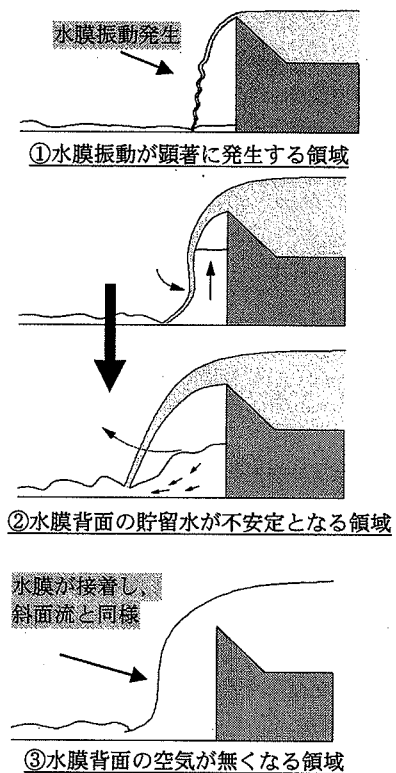


図-12 各越流水深での流れのイメージ

a) 実験結果

堰高 0.5m を使い、水路幅を 1.0m として、越流水深を約 25cm まで増加させ、越流部において水膜を分断させた場合と併せて、越流水深と音圧レベルの関係を調査した。

結果、図-10 に示すように水膜分断の有無で可聴音では違いがなく、越流水深増加に伴い、音圧レベルも増加する傾向を示した。低周波音は水膜分断が

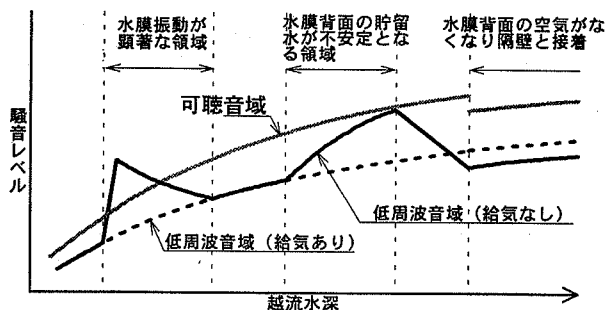


図-13 低落差の騒音発生要因のイメージ

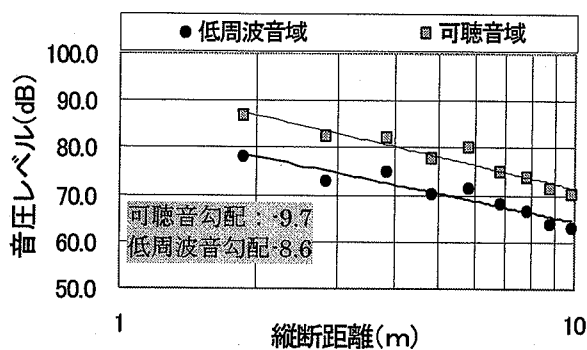


図-14 落差 0.5m の堰での音圧の距離減衰

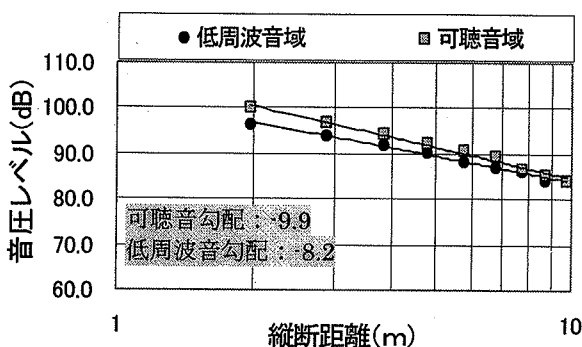


図-15 落差 1.5m の堰での音圧の距離減衰

無い場合、越流水深が 7cm～15cm の範囲で、水膜背面に貯留した水が周期的に下流に排出され、15cm 以上で水膜背面の空気が完全になくなり、斜面流の場合と同様の流況となった。音圧は図-11 に示すように水膜分断ありの場合、越流水深に比例し増加傾向を示すが、なしの場合は 7～15cm では高い値を示し、15cm 以上では逆に低い値を示す傾向を示した。

b) 発生騒音の種類

これより、低落差の落下流による音は越流水深に従い、以下の 4 つのパターンに大別して発生するものと考えられた。流れのイメージと水深と音圧レベルの関係のイメージを図-12、図-13 に示す。

- ・越流水深が 3～4cm の範囲では、水膜振動が顕著に発生するため、この膜の振動と落下点の 2 種類が音の発生要因となる。
- ・越流水深が 5cm 以上では、落下点での発生音が支配的となる。
- ・越流水深が高くなり水膜背面の貯留水が下流水深より高くなると、周期的に貯留水が下流に流

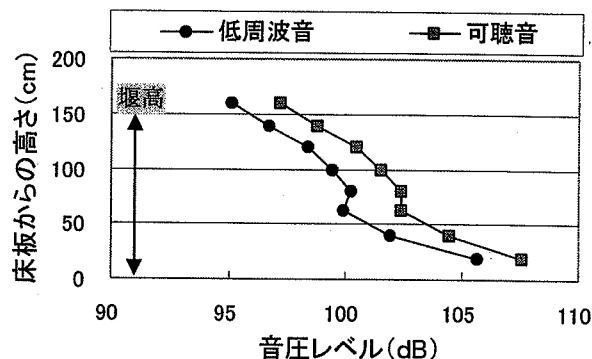


図-16 鉛直方向の音圧レベル

下し、その際に爆発音的な音を発生させる。

- ・落下流の背面の空気が完全に無くなる場合は、流れが落下ではなく、斜面流と同様となるため、音の発生は跳水始端でのものとなる。

c) まとめ

低落差の堰での落下流音は、落下のエネルギーの他、水膜振動や膜背面貯留水の排出に発生する音など、越流水深により変化する。

(3) 音源タイプと音源の位置

a) 音源タイプと距離減衰

一般的に落下流は線音源であり、一定距離離れると点音源になる^{8), 9), 10)}とされている。しかし、水膜振動を含む低周波音については明確になっていない。

実験では、落差 1.5m の堰を用い、水膜振動が顕著に発生する越流水深 4cm を対象に音圧の距離減衰傾向を調査した。

音圧は、音源からの距離の対数値に反比例し減衰し、音圧の減衰勾配が -20 で点音源、-10 で線音源となる。

実験の結果、図-14、15 に示すように可聴音、低周波音ともに減衰勾配は、約 -8～-10 の値を示し、水膜振動が発生しても線音源 (勾配 -10) となる。

b) 水膜振動がある場合の音源の位置

①と同一条件で、落下面の鉛直方向の音圧を調査した。

実験の結果、図-16 に示すように可聴音、低周波音ともに、落下点近傍において音圧レベルのピーク値を示すことが確認できた。

これより、落下点での流水衝突、飛散時に発生する音、水膜振動により発生する音とともに落下点が発生音源点と考えられた。

c) まとめ

以上より、水膜振動が発生している場合も含め、音源は線音源、音源点は落下点と考えられた。

4. 対策工の提案

(1) スポイルの効果について

a) スポイル

スポイルは越流水を分断し、水膜振動を抑制する対策で「ダム・堰施設技術基準 (案)」等^{11), 12)}では

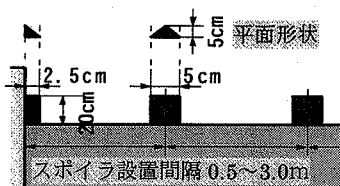


図-17 スポイラの諸元

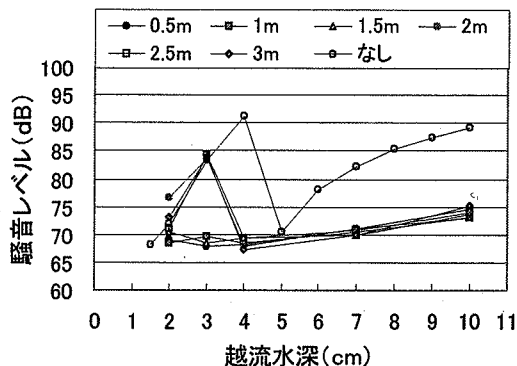


図-18 スポイラ間隔とG特性値の関係

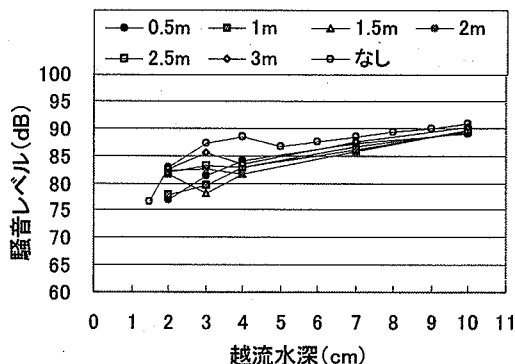


図-19 スポイラ間隔とA特性値の関係

設置間隔 3m以下が事例として多いことを示している。

設置間隔は 2m以下が有効とする研究²⁾もある。

b) 実験結果

堰高 1.5mの実験水路を用い、図-17 に示す諸元のスポイラを設置間隔 0.5m~3.0mまで 0.5mピッチで変化させ、越流水深毎の効果を調査した。

実験の結果、スポイラの設置間隔毎の越流水深と騒音レベルの関係を図-18, 19 に示す。また、代表的な越流水深として越流水深 3cm 時におけるスポイラの設置間隔と騒音レベルの関係を図-20 に示す。

A 特性については、スポイラの設置効果はみられるが、越流水深が 5cm 以上では差がみられない。

G 特性については、水膜振動が顕著となる越流水深 3~4cm においてスポイラ設置間隔 2.0m が騒音低減の勾配変化点となり、間隔 1.5m 以下であれば 10~20dB の低減効果が得られた。越流水深 5cm 以上ではスポイラの設置間隔に関係なく、越流水深の増加に伴い騒音低減効果も高くなる傾向を示した。

c) まとめ

これより、水膜振動を抑制するには、スポイラの設置間隔を 1.5m 以下が必要と考えられた。

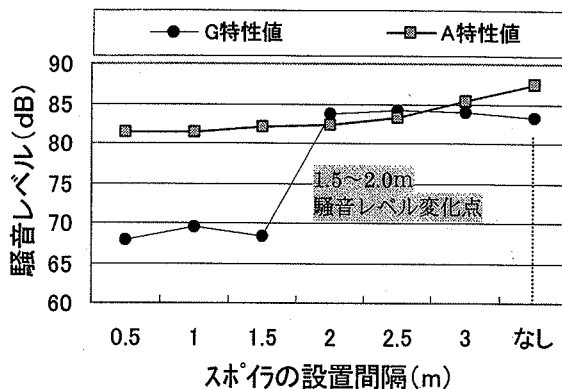


図-20 スポイラ設置間隔と騒音レベルの関係 (越流水深 3cm)

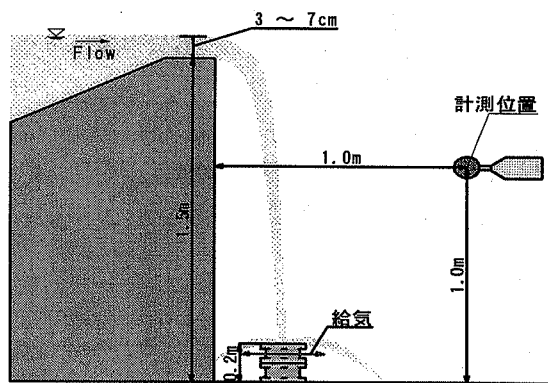


図-21 実験模型と計測概要

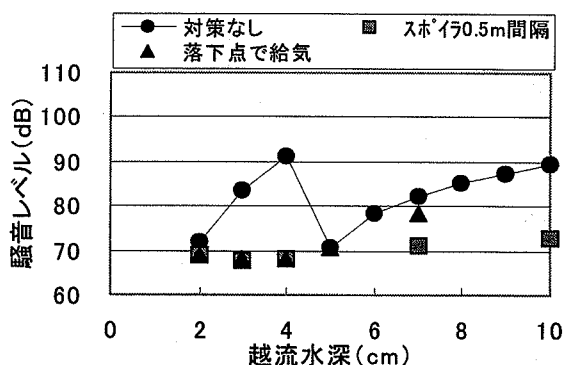


図-22 G特性値と越流水深の関係

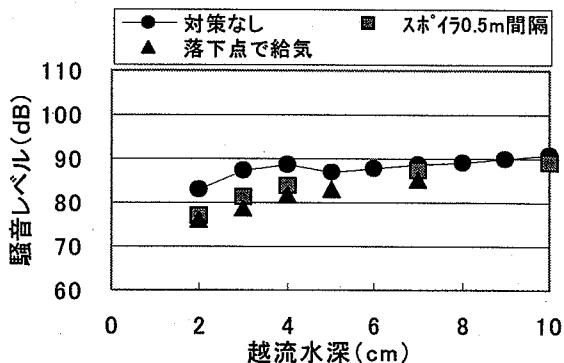


図-23 A特性値と越流水深の関係

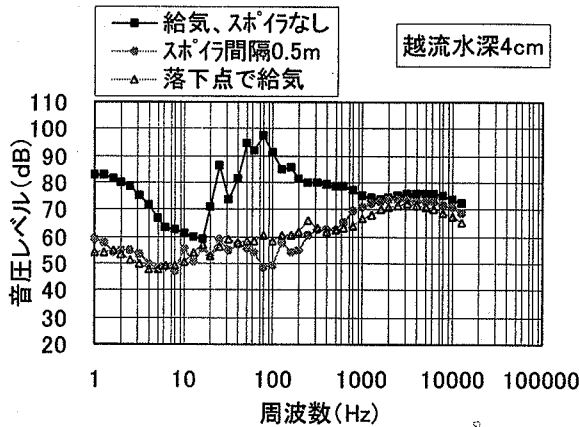


図-24 落下点給気の場合の周波数特性比較

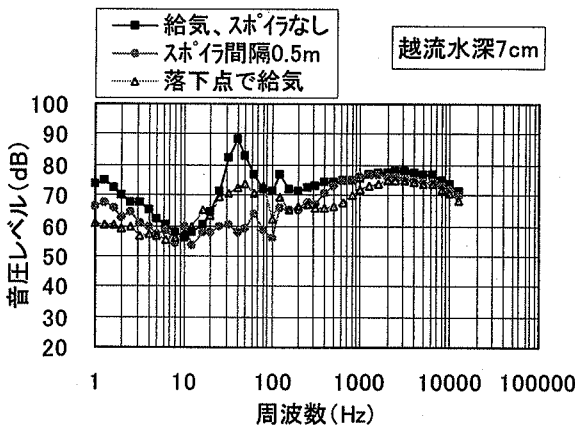


図-25 落下点給気の場合の周波数特性比較

(2) 落下点における騒音対策について

a) 対策形状

図-21 に示す落下点に穴の空いた段差を設け、落下水膜背面に給気を行うことで水膜振動が抑制できると考えた。

b) 実験結果

実験では、対策として落下点に穴あきブロックを設置して調査した。

図-22～25 に落下点にブロックを置いた場合と対策なしの場合、スポイラを 0.5m ピッチで設置した場合の 3 タイプの越流水深と越流水深の騒音レベルの関係と 4cm 時の周波数特性を示す。

これより、水膜振動が顕著となる越流水深が 3～4cm では、スポイラを 0.5m 間隔で設置した場合と同様の騒音レベル、周波数特性が得られた。

越流水深が 7cm 程度についてもスポイラ設置時の効果よりは劣るが、音圧低減効果はあることが確認できた。

c) まとめ

落下点に空気穴のある段差を設けることで、水膜振動と流水背面の水の貯留が抑制でき、水膜振動が顕著となる越流水深に対しては、スポイラを 0.5m 間隔で設置した場合と同程度の効果が期待できることがわかった。

5. まとめと課題

以上より、小規模な水路の低落差の堰でも A 特性値で 70dB 程度の騒音が発生していることがわかり、今後、同等程度の堰においては新たな問題となる可能性が高いことが確認できた。

低落差の堰では、以下の騒音特性を示すことがわかり、今後、騒音問題が発生した場合、対象となる水量（落差と越流水深等）により発生する騒音のタイプ（可聴音、低周波音）や発生要因も異なるため、現象に合致した対策を考える必要があることがわかった。

- ・越流水深により騒音の発生要因及び卓越する周波数帯が異なる。
- ・水膜振動が発生している場合も含め、音源は線音源となる。
- ・音の発生点は、落下流の落下点となる。
- ・低落差堰での水膜振動を抑制するには、スポイラの設置間隔が 1.5m 程度必要となる。
- ・落下流の落下点に空気穴を設けることで、水膜振動が抑制でき、スポイラを 0.5m 間隔で設置した場合と同程度の効果が期待できる。

今後の課題としては、現地騒音事例を収集し、生活空間として問題となる G 特性値の把握とその具体的な対策方法の立案を行う必要がある。

参考文献

- 1) 竹林征三, 角哲也, 箱石憲昭: 堰などからの放流に伴う低周波空気振動の発生機構, ダム技術 No. 71, pp. 372-375, 1992.
- 2) 竹林征三, 角哲也, 箱石憲昭: 堰等からの放流に伴う低周波空気振動対策, ダム技術 No. 82, pp. 386-403, 1993.
- 3) 竹林征三: ダム・堰と低周波空気振動, 騒音制御 Vol 123・No. 5, pp. 324-328, 1999.
- 4) 角哲也, 中島康夫: 水膜振動の三次元特性と音圧レベルの推定に関する研究
- 5) 浪平篤, 後藤真宏, 小林宏康, 常住直人: 取水堰における落下水音の評価-堰の角度による音響特性の違い, 農業土木学会関東支部大会講演会講演要旨, pp. 5-7, 2004.
- 6) 後藤真宏: 取水席における落下水騒音の音響工学的評価と対策技術の開発に関する研究, 環境保全研究成果, 環境省総合環境政策局総務課環境研究技術室, 2005.
- 7) 落合博明, 田矢晃一: 低周波音による建具のがたつき始める音圧レベルについて, 騒音制御 Vol 126/No 2, pp. 120-128, 2002.
- 8) 守田栄: 新版騒音と騒音防止, オーム社, 1991.
- 9) 日本音響材料協会: 騒音・振動対策ハンドブック, 技報堂出版, 1993
- 10) 丹治肇, 関谷剛: 農業用の落差工に発生する騒音について, 農業土木試験場技報 B(水理) 第 51 号, pp. 13-24, 1982.
- 11) 社団法人ダム・堰施設技術協会: ダム・堰施設技術基準(案), pp. 420-421, 2000.
- 12) 社団法人ダム・堰施設技術協会: 鋼製起伏式ゲート設計要領(案), pp. 71-74, 1999.

(2006. 4. 6 受付)