

## 越流式ゲートの水膜振動に起因する低周波騒音の低減対策

An Abatement Measure of Low-Frequency Noise Caused by  
Oscillation of Water Screen from Overflow Gates

高木 強 治<sup>†</sup> 後藤 眞 宏<sup>†</sup> 浪平 篤<sup>†</sup>  
(TAKAKI Kyoji) (GOTO Masahiro) (NAMIHIRA Atsushi)  
関谷 明<sup>††</sup> 峯岸 雄一<sup>†††</sup>  
(SEKIYA Akira) (MINEGISHI Yuichi)

## I. はじめに

都市化、混住化の伸展に伴い、今日では農業水路の周辺に住宅が建設されることも珍しくない。このような農業水路のうち、ゲートや落差工などの設置箇所周辺では、通水時に落下流による騒音が発生する。落水騒音には、越流水膜の着水時の音だけでなく、その振動により発生する音があり、特に後者の騒音には、人の聴覚では認識できない低周波音が含まれている<sup>1)</sup>。一般に、このような低周波音には、障子や窓枠のがたつきなどの物理的問題や、頭痛や不眠などの生理的問題を誘発する可能性が指摘されている<sup>2)</sup>。

水膜振動による低周波音の発生は古くから知られており、治水のための堰やダムへのゲートからの越流については、その特性の把握や対策の検討もなされている<sup>3)</sup>。一方、農業用の頭首工や分水工のような、運用時の越流水深が比較的小さな水利施設に対しては、その低周波音の実態把握や対策の検討は十分とは言えない。そこで本報文では、水膜振動に起因する低周波音の実例を示し、さらに低周波音低減に係る従来技術の問題点、ならびに水膜振動を防止する対策工とその効果について述べる。

なお、本報文は、既発表論文<sup>4)</sup>の一部に現地調査の結果と実験データを追加して取りまとめた。

## II. 越流式ゲートから発生する落水騒音

## 1. 調査地区

落水騒音の実態を把握するため、越流式ゲートを4つ有する分水工で騒音の調査を行った。調査地区では、用水路沿いに住宅開発が進んでおり、分水工のごく近傍にも多数の住宅が集中している(写真-1)。騒音の調査地点(図-1)は、右岸側のゲートから上流に①50m、②20m離れた地点、および③ゲート地点、



写真-1 農業水路とそれに隣接する住宅

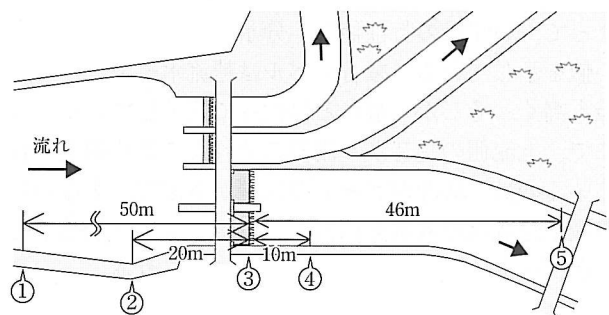


図-1 騒音の調査地点

さらにそれから下流へ④10m、⑤46m離れた地点(道路上)である。また、分水工の堰軸付近の水路幅は、約23mとなっている。調査は灌漑期間中の2008年7月3日に行われ、このときはすべてのゲートから越流が認められた。

2. 騒音の物理的評価<sup>5)</sup>

音はさまざまな周波数の音の重ね合わせで成り立っている。人間の聴覚で捉えることができる音は、20~20,000 Hzといわれており、この範囲を可聴音域と呼ぶ。ここで、低周波音域は1~100 Hz、このうち超低周波音域が1~20 Hzである。音の大きさは、音圧の

<sup>†</sup>農村工学研究所

<sup>††</sup>(株)建設技術研究所

<sup>†††</sup>ライト工業(株)



水膜振動, 落水騒音, 低周波, G特性, 音圧, 線音源, 距離減衰

実効値 ( $p$  = 大気圧との差の二乗平均) と基準音圧 ( $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ) の比の対数  $20 \log(p/p_0)$  で表す。これを音圧レベルと呼ぶ。単位はデシベル (dB) である。

一方、騒音は人間にとって不快に感じる音のことである。感覚的尺度である騒音は、前述の物理的尺度である音圧レベルに、人間の感覚に応じた周波数補正を行って算出される。つまり、騒音の大きさを表すには、周波数ごとに補正を行った音圧レベルを積算して表示する。これが騒音レベルで、単位は音圧レベルと同じく dB で表す。可聴音域の補正を行ったものが A 特性値、超低周波音が人体感覚に与える影響を評価する補正を行ったものが G 特性値である。なお、周波数補正を行わないものを FLAT 特性値というが、これは物理的尺度にほかならない。本報文の低減対象となる騒音は G 特性値である。

低周波音の測定には、リオン社製低周波音レベル計 NA-18 A、可聴音の測定には、同社製精密騒音計 NA-27 を用いた。

### 3. 落水騒音の特徴

図-2 に調査地点ごとの G 特性値と A 特性値を示す。騒音に係る環境基準<sup>9)</sup>によれば、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域においては、昼間 60 dB 以下、夜間 50 dB 以下が示されている。よって、いずれの特性値も、分土工近傍ではかなり高い値を示している。騒音レベルは越流水落下点付近が最も高く、そこから離れるに従って低下していく。ここで、上流側の騒音が下流側のそれより低く抑えられているのは、音源がゲートの天端から下方、すなわち水膜や越流水の着水点にあり、直接上流側へ伝搬する音がゲートにより遮られるためと考えられる。

また、騒音の距離減衰傾向は、音源が点である“点音源”と、音源からの距離に対し音源の長さが十分に長い“線音源”で異なる。たとえば、横軸に音源からの距離の常用対数、縦軸に音圧レベルをとると、その減衰直線の傾きは、無限長の線音源で -10 を示す。また、有限長の線音源では、音源の近傍で無限長の線音源と同じ傾き -10 の減衰直線となるが、ある一定の距離 (実用的には音源長の 1/3 程度) 離れると点音源の特性に漸近し、減衰直線の傾きは -20 になる。ここで、図-3 に低周波音圧の距離減衰傾向を示す。下流方向への伝搬特性を見ると、その直線の傾きは約 -10 となり、この音源が無限長の線音源の特徴を持つことがわかる。また、この観測の範囲では、距離減衰曲線の傾きは -10 のままである。音源長は、長く見積もったとしても水路幅 23 m であるが、ここではその 1/3 を超えても無限長線音源の特性を保持していることになる。この理由は、水路に設置された越流

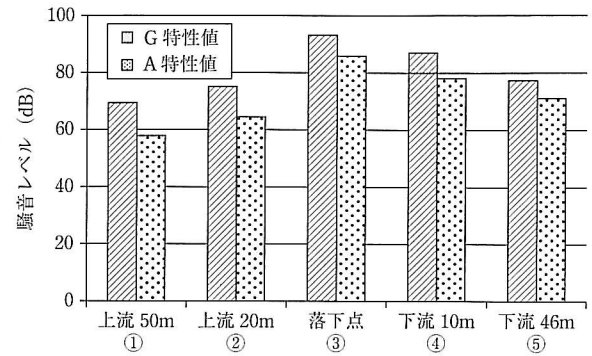


図-2 ゲートからの距離と騒音レベルの関係

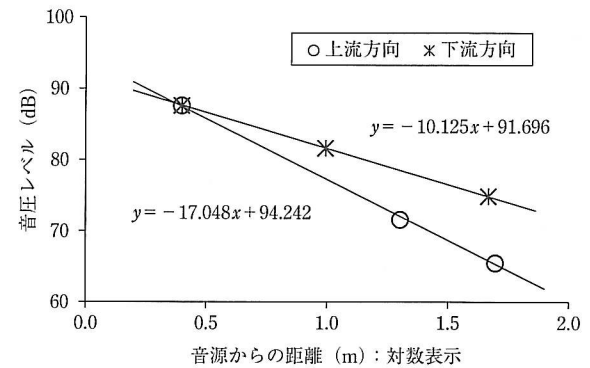


図-3 低周波音圧の距離減衰 (FLAT 特性値)

ゲートの下方で生じる騒音は、水路壁によって側方への伝搬が遮られ、エネルギーが水路下流方向へ集中して向かうためと考えられる。

一方、上流方向への伝搬を見ると、減衰直線の傾きは -17 であり、点音源に似た特徴を有している。これは、分土工の下流で発生した騒音が、水路側壁の影響を受けずに、つまり騒音がいったんゲートの天端から上方へ抜けた後、上流へ伝搬するためであろう。このように、騒音の伝搬特性は、水路の構造により大きく異なる。特に、越流式ゲートの下流で発生する騒音は、距離減衰が比較的緩やかで、遠方まで伝搬しやすい特徴を持つので、その対策には注意が必要である。

### III. 従来技術の問題点

水膜振動の防止対策として、ゲート天端の突起、すなわちスポイラの設置があげられる。これは、スポイラにより水膜を分断し、水膜背面を開いた空間とし、膜前後の圧力を開放する方法である。この方法が有効な理由は、低周波騒音の発生要因、すなわち水膜と大気の界面での密度と渦度が不均一になって界面の擾乱が成長することと、ゲートと越流水膜の間に通常形成される閉空間における圧力変動が相互に作用すること<sup>1)</sup>を妨げるためである。実際に、スポイラの設置は低周波騒音の抑制に一定の効果を上げているのであるが、越流水深が 3 cm 程度と小さい場合には、スポイ

ラの設置間隔を1 m程度に狭くしても、低周波音域で音圧レベルのピークが発生する<sup>7)</sup>。

現在、上述の小越流水深時の低周波騒音が効果的に抑制できない事例が各地で見られる。調査地区の分水工でも、一般に水膜振動の抑制に効果があるとされる2~5 mより狭い間隔でスポイラが設置されている。よって、原理的に低周波騒音は発生しないはずであるが、実際には図-2に示したようにならかなり大きな低周波騒音が発生している。もう少し詳しく見るために、下流の調査地点における音圧レベルを周波数ごとに示したのが図-4である。明らかに超低周波音域の10~20 Hzに音圧レベルのピークがある。このようなデータの特性は、水膜振動による低周波騒音で特徴的に現れるものである<sup>4)</sup>。

なお、水膜振動を抑制するには、スポイラの設置間隔を狭くし、設置基数を増やすことで対応することが考えられる。しかし、既存のゲートにスポイラを設置した場合、その越流係数が変化し、上流の水位上昇につながるため、現実にはスポイラを数多く設置できない。このことも技術的な課題としてあげられる。

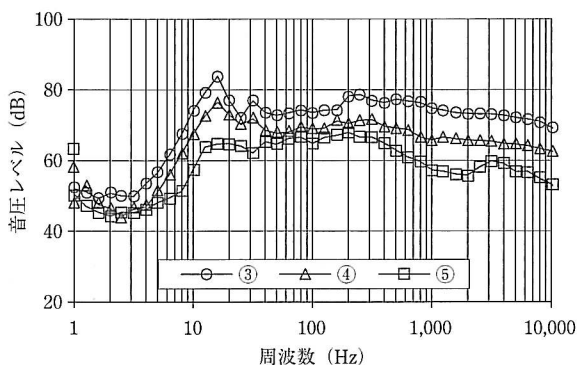


図-4 音圧レベルと周波数の関係

#### IV. 低周波騒音の対策工

##### 1. 原理と特徴

III.で述べたように、スポイラによる低周波騒音の抑制は、越流水深によっては効果が薄い場合がある。そこで、スポイラのように越流水深を堰天端で分断し、水膜による閉空間を開放することに着眼するものではなく、落下流を水の束とし、水膜そのものが形成されないようにすることを意図して、2種類の対策工を試作した。それが写真-2に示す箱型対策工と樋型対策工である。これらの対策工は、ゲートの越流機能への影響を回避するため、流水がゲートの天端を通過後に効果が発揮されるよう、ゲートの天端直下流に取り付ける。ここで、従来技術との相違点は、次のように整理できる。

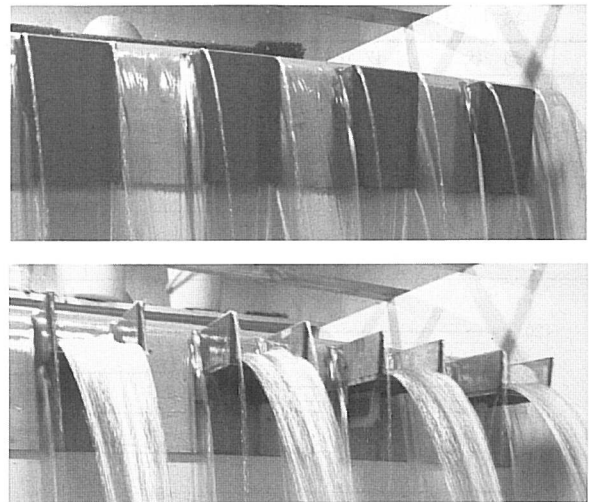


写真-2 箱型対策工(上)と樋型対策工(下)

- ① 箱型、樋型等の装置により、越流水を複数の水流の束として水膜を発生させない。
- ② 越流部の下流に取り付けることにより、越流部の機能や越流係数に影響しない。
- ③ 堰の越流機能に影響を与えないので、設置基数を任意に設定できる。
- ④ 既存の堰に後付けで容易に設置が可能である。

##### 2. 効果の検証

対策工の効果を検証するため、次のような実験を行った。まず、吸音材としてグラスウールの壁からなる防音室を設置し、その内部に幅1.77 m、落差2 mの堰を設置した。堰の規模は、国営事業で建設された頭首工の堰高、および水理実験施設の制約条件等を考慮して決定した。予備実験によって、対策工の高さと奥行きを定めた後、その幅を表-1のように変化させて、現地調査と同じ計測方法で、落水に伴う騒音を床版から1.2 mの地点で測定した。このとき、対策工の間隔は対策工の幅と同一にした。

低周波騒音の低減効果を越流水深に対して整理すると図-5と図-6が得られた。何の対策も採られないときの低周波騒音レベルは、どの越流水深に対してもほぼ90 dB前後であり、特に水深4 cmにピークがある。対策工の効果は、いずれの形状でも発揮されており、低周波騒音レベルを10~30 dB程度低減させている。特に、スポイラが苦手とする3 cm前後の越流水深時でも、騒音低減が実現できていることがわかる。ただし、両者を比較すると、樋型の対策工の方が、大きな越流水深に対しても流況が安定しており、騒音低減効果も高いと判断できる。また、浮遊ゴミの流下が多い場合、ゴミの付着が懸念されるため、特に箱型の装置では必要に応じたメンテナンスが必要となる。一方樋型の装置は、従来型のスポイラに比べて

表-1 実験に使用した対策工の寸法と設置数

形状	W (cm)	H (cm)	B (cm)	基数
箱型	30	30	10	2
	25	30	10	3
	20	30	10	4
樋型	30	10	30	2
	25	10	30	3
	20	10	30	4

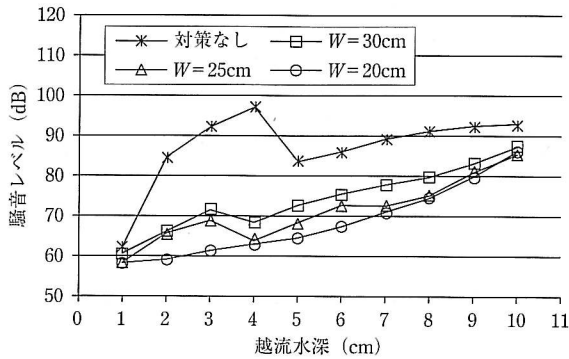


図-5 箱型対策工の騒音低減効果 (G 特性値)

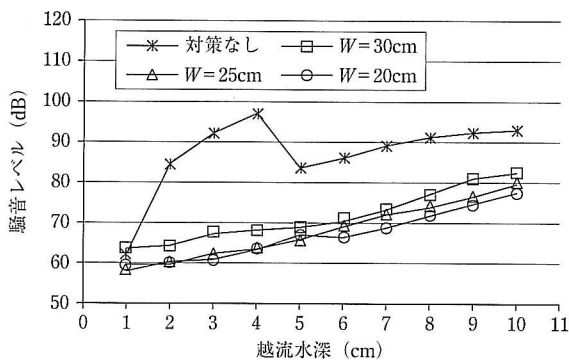


図-6 樋型対策工の騒音低減効果 (G 特性値)<sup>4)</sup>

も、その構造上ゴミへの耐性は高いと考えられる。

以上の結果から、越流式ゲートの水膜振動に起因する低周波騒音の低減には、幅 25 cm 程度の樋型対策工の設置が効果的といえよう。

### V. おわりに

本報文で提案した対策工は、高さ 3 m 以下の比較的低落差の越流式ゲートによる低周波騒音を対象としたものである。簡易な取り付けが可能で効果もあることから、水膜振動による騒音対策の一助になれば幸いである。なお、本研究は、農林水産省官民連携新技術研究開発事業 (平成 19~21 年度) による成果である。この場を借りて、関係各位に感謝申し上げる。

### 参考文献

1) 竹林征三, 野口一弘, 増本晴久: 堰越流放流時に発生する

低周波空気振動に関する一考察, ダム技術 18, pp.70~79 (1986)

2) 環境省環境管理局大気生活環境室: 低周波音防止対策事例集, <http://www.env.go.jp/air/teishuha/jirei/index.html> (2002)

3) 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 82, pp.4~21 (1993)

4) 関谷 明, 最上谷吉則, 寺井和弘, 峯岸雄一, 高木強治, 後藤真宏, 長嶺拓夫: 落下流により発生する低周波音の低減対策工の提案, 河川技術論文集 16, pp.383~388 (2010)

5) 日本音響材料協会編: 騒音・振動対策ハンドブック, 技報堂出版, 905 p. (1982)

6) 環境省: 騒音に係る環境基準について, <http://www.env.go.jp/kijun/oto1-1.html> (2005)

7) 後藤真宏, 浪平 篤, 小林宏康, 常住直人, 関谷 明: ゲートの越流水の低周波音とスポイラによる低減効果について, 農村工学研究所技報 207, pp.139~147 (2008) [2010.6.23.受稿]

### 高木 強治 (正会員)



略 歴  
1960年 福岡県に生まれる  
1984年 九州大学卒業  
農林水産省入省  
農業土木試験場  
2006年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所  
現在に至る

### 後藤 真宏 (正会員)



1960年 福岡県に生まれる  
1984年 筑波大学卒業  
1985年 農林水産省入省  
農業土木試験場  
2006年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所  
現在に至る

### 浪平 篤 (正会員)



1975年 兵庫県に生まれる  
2000年 神戸大学大学院修了  
農林水産省入省  
農業工学研究所  
2006年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所  
現在に至る

### 関谷 明



1960年 栃木県に生まれる  
1990年 (株) 建設技術研究所入社  
研究センターつくば  
現在に至る

### 峯岸 雄一



1954年 福島県に生まれる  
1978年 武蔵工業大学大学院修了  
1978年 ライト工業 (株) 入社  
現在に至る