

〔農工研技報 211〕
171～185, 2011〕

越流堰からの落水によって発生する低周波騒音の特徴と低減工法

高木強治*・後藤真宏**・浪平 篤*・関谷 明***・峯岸雄一****・長嶺拓夫*****

目 次

I 緒 言	171	2 スポイラの騒音低減効果	176
II 実験方法	171	V 新たな低周波騒音低減工法	177
1 防音室の設置と水理模型の製作	171	1 原理と特徴	177
2 騒音の物理的評価と落水音の計測方法	172	2 騒音低減効果の検証	178
III 落水音の特徴	173	VI 現地実証試験	182
1 越流水深と騒音レベル	173	1 地区の現況	182
2 落水音の周波数特性	174	2 樋型対策工の設置とその効果	183
3 音圧レベルの鉛直分布	174	VII 結 言	183
IV 低周波騒音低減工法の課題	175	参考文献	183
1 スポイラの原理	175	Summary	185

I 緒 言

騒音規制法施行状況調査によれば、平成21年度の騒音苦情件数は15,101件で、このうち低周波騒音に係る苦情件数は245件ある(環境省水・大気環境局大気生活環境室, 2010)。ここ20年ほど、前者は横ばいで推移している一方で、後者は急速に増加傾向にあり、低周波騒音の問題はしだいに表面化するとともに、その対応が求められつつあるところである。

近年、都市の拡大に伴って、都市と農村域が接近し、農家と非農家との混住化が進んでいる。同時に、農業用施設が市街地内に埋没するなど、施設と地域の生活圏が急接近して来ている。このため、農業用施設の運用面でも、様々な課題がクローズアップされて来ている。その一つとして、農業水路を構成するゲートや落差工などの水利施設の設置箇所周辺で、通水時に発生する落水による騒音が挙げられる。落水騒音には、越流水の着水または着床時の音だけでなく、水膜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(竹林ら, 1986)。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(環境省環境管理局大気生活環境室, 2002)。

水膜振動による低周波音の発生は古くから知られている課題で、治水のための堰やダムのゲートからの大規模な越流に起因する落水音については、その特性の把握や対策の検討もなされている(竹林ら, 1993)。一方、農業用の頭首工や分水工のような、比較的低落差の越流堰で、運用時の越流水深が小さな水利施設に対しては、その低周波騒音の実態把握や対策の検討は十分とは言えない。そこで本研究では、越流堰における落水音の特徴を詳細な室内実験により明らかにする。さらに、低周波騒音低減に係る対策工とその効果について述べる。

本研究は、農林水産省官民連携新技術研究開発事業(2007～2009年度)による成果である。著者らの既報(高木ら, 2010; 関谷ら, 2010)では、その研究の一部が報告されている。本稿は、これらに加えて、低周波騒音の発生メカニズムを含め、低減工法開発に係る過程を詳細に示すことを目的としてとりまとめた。なお、現地実証試験にあたっては、会津北部土地改良区の頭首工を利用させていただくなど、関係各位に多大なるご協力を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表す。

II 実験方法

1 防音室の設置と水理模型の製作

本研究では、越流堰からの落水によって発生する低周

* 施設資源部水源施設水理研究室

** 施設資源部上席研究員

*** (株)建設技術研究所

**** ライト工業(株)

***** 埼玉大学

平成23年1月19日受理

キーワード: 水膜振動・周波数特性・G特性・A特性・音圧

波騒音を対象とする。越流堰は頭首工の土砂吐や用水路の分水工で多く採用されているが、ここでは前者の規模を参考にして水理模型を製作し、越流時に発生する音を目的に応じた騒音計で測定する。

ある種の騒音を測定する場合、それ以外の騒音が存在すると、騒音計はそれらを重ね合わせてひとつの音として捉える。この影響を避けるためには、一般に騒音が大きくなる昼間の時間帯を避け、騒音が小さくなる夜間に実験を行うことが推奨される。しかし、農村工学研究所の敷地内で夜間に行った落水音の予備実験では、周囲からの雑音の影響が大きく、目的とする騒音の特性を把握することが困難であった。そこで、自然環境下の暗騒音の影響を取り除き、精度良く騒音特性を把握するために、まず越流堰の水理模型が入る大きさの防音室を設置することとした。

防音室は、農村工学研究所頭首工第1実験棟内に設置した。寸法は幅5m、奥行き7m、高さ5mで、厚さ12mmの合板に吸音材として厚さ50mmの高密度グラスウールボード（旭ファイバーグラス株式会社製、ソノボードSNB32）を内壁、外壁に敷き詰めた（Fig.1）。給水のために、防音室の背面から内部に導水管を引き込み、前面には越流堰からの落水の排出口（幅2m、高さ0.4m）を設けた。

防音室の内部に、落差2m、幅1.77mの木製の越流堰を製作した（Fig.2）。一般に、水理模型実験では、Froudeの相似則に従って原型寸法を縮小した模型を使用するが、音にはFroudeの相似則が適用されないため、この越流堰の規模は原型を想定している。なお、模型の落差は、国営で建設された頭首工の堰高が2m前後に集中している（農業農村整備情報総合センター、2009）ことから決定しており、幅は実験に供せられる施設の制約等から定めたものである。実験用水の供給は、導水管を越流堰の背後の給水槽に接続し、整流後に前面の堰を越流させる。越流水は側方に飛散しないよう、片側を木製、片側をアクリル製の高さ2.5m、幅1mの板で覆い、落水後はコンクリートブロックで作成した長さ2.4mの導水路で防音室の外に排出する。

2 騒音の物理的評価と落水音の計測方法

一般に、音は様々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、20～20kHzといわれており、この範囲を可聴音域と呼ぶ。ここで、低周波領域は1～100Hz、このうち超低周波領域が1～20Hzである。音の大きさは、音圧の実効値（ p = 大気圧との差の二乗平均）と基準音圧（ $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa）の比の対数 $20 \log_{10} (p/p_0)$ 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（日本音響材料協会、1982）。

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



Fig.1 施工中の防音室
Sound proof room under construction



Fig.2 越流堰の水理模型
Hydraulic model of overflow weir

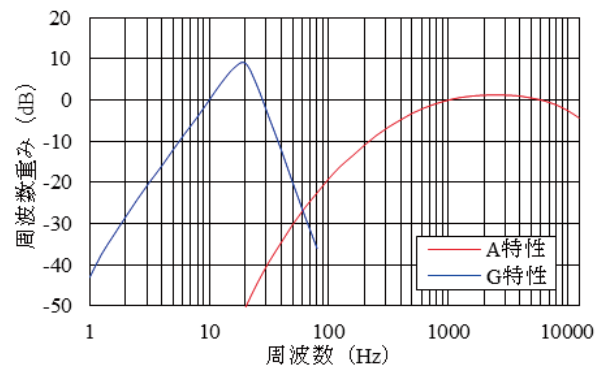


Fig.3 A特性とG特性の周波数重み
A-weighted and G-weighted frequency response

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。A特性値の聴感補正フィルタ（経済産業省、2005）では、低周波領域における負の補正值が大きい（Fig.3）。たとえば、周波数1000Hzの補正值は0dBであり、200Hzで-11dB、100Hzで-19dB、50Hzで-30dB、20Hzで-51dB程度の補正を行う。このため、

A 特性値の計算には、低周波領域の音圧レベルがほとんど考慮されない。一方、G 特性の聴感補正フィルタ（環境省，2000）では、周波数 20Hz に正の補正值のピーク +9dB があり、周波数が低い方へは 10Hz で 0dB、5Hz で -12dB、高い方へは 25Hz で +4dB、40Hz で -12dB、80Hz で -36dB と急激に音圧レベルを減衰させる（Fig.3）。したがって、G 特性に影響するのは 80Hz 以下の周波数領域の音になる。

低周波音の測定には、リオン社製低周波音レベル計 NA-18A、可聴音の測定には、同社製精密騒音計 NA-27 を用いた。計測位置は、Fig.4 に示すように、堰の下流から 1m、床板から 1.2 m の地点である。一般に、音源の音を正確に捉えるには、対象に近接して測るのが望ましいが、ここでは側方に設けた飛散防止板の大きさを考慮して測定位置を決めた。ただし、計測高さについては、その目的によって騒音計の位置を適宜変更する。計測時間は、1 回の測定につき 60 秒である。騒音計では、1/3 オクターブバンドレベルの同時周波数分析を行い、対象周波数を 1 ~ 12.5kHz とする。よって、本研究で騒音計によって測定された音の周波数は、すべて 1/3 オクターブバンド中心周波数を意味する。騒音の分析には、A 特性値、G 特性値、周波数ごとの音圧レベルを使用した。

III 落水音の特徴

1 越流水深と騒音レベル

越流堰からの落水による低周波音を抑制するには、その発生条件や形態を知ることが重要である。I で述べたように、落水騒音には越流水膜の着水あるいは着床時の音だけでなく、水膜の振動により発生する音がある。以下では、落水音の特徴を詳細に分析し、また鉛直方向の音圧レベル分布を評価することで、低周波音の発生条件や発生箇所を把握する。

ここでは、II に示した越流堰の水力模型において、堰上流の越流水深を 1 ~ 10cm まで 1cm 刻みで変化させて騒音の観測を行ない、越流水深と騒音レベルの関係を明らかにする（Fig.5）。A 特性値は、越流水深の増加に従って緩やかに大きくなる。ただし、越流水深 1cm の騒音レベルと 10cm のその差は 10dB 程度である。また、騒音レベルが 90dB を過ぎたあたりから、越流水深に対する騒音レベルの増分は小さくなる。一方 G 特性値は、越流水深の増加に従って一様には増加しない。越流水深が 1cm のときは 62dB と小さく、2cm になると急激に大きくなって 85dB となる。さらに、越流水深が 4cm のとき 97dB のピークに達し、5cm でいったん 84dB まで低下する。その後、騒音レベルは、越流水深の増加に従って大きくなるが、その増分は次第に小さくなっていく。このように、越流水深の変化に対して、可聴音域の騒音を表す A 特性値と、超低周波領域の騒音を表す G 特性値の特徴は大きく異なる。また、G 特性値は越流水深に

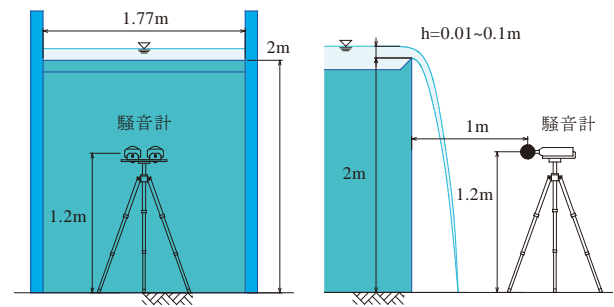


Fig.4 騒音の計測位置
Measurement position of noise

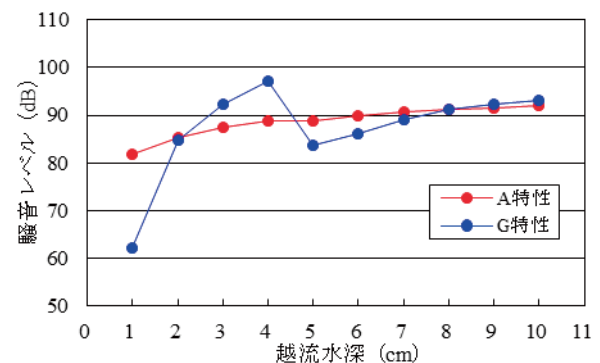


Fig.5 越流水膜から発生する騒音
A-weighted and G-weighted sound pressure level at water screen against overflow depth

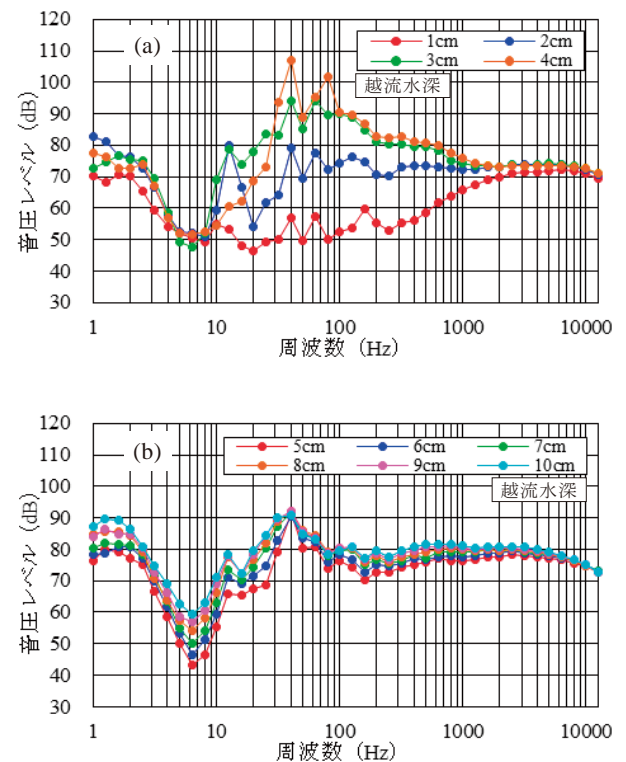


Fig.6 越流水膜から発生する騒音のパワースペクトル：
越流水深 (a) 1-4cm, (b) 5-10cm
Power spectrum at water screen by overflow depth

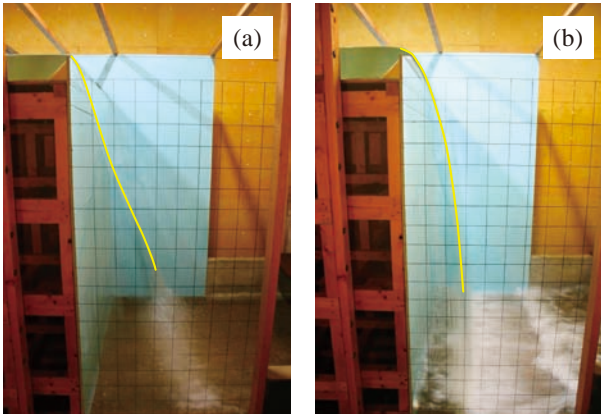


Fig.7 越流水膜の形状：越流水深 (a) 1cm, (b) 4cm
Shape of water screen: overflow depth = (a) 1cm, (b) 4cm

対して一様に増加せず、水深が比較的小さな 4cm のときに騒音レベルのピークを示す。なお、低周波音による心身に係る苦情に関する G 特性の参照値は 92dB である（環境省環境管理局大気生活環境室，2004）。ここで、参照値は規制基準、要請限度とは異なり、苦情に対する低周波音影響の可能性を判断する目安の値である。したがって、越流水深が 3～4cm と 9～10cm の G 特性値は、超低周波音の発生による苦情が現地の住民から寄せられた場合に、何らかの対応が必要なレベルの騒音となる。

落水音は、落水の挙動が空気を振動させることで発生する。ここで、仮に越流水膜からは音が発生しないならば、落水音は着床時のエネルギー損失を伴う乱れが発生させているということになる。この場合、落水によって発生する音は、エネルギーと強い相関がある。越流水深の増加は、エネルギーの増加を意味するので、水深の増加に従って騒音レベルが変化しない場合、騒音の要因は水膜着床時の騒音とは別と考えるのが自然である。この観点から、越流水深が 2～4cm で発生している超低周波騒音は、越流水膜の乱れや振動が発生させていると推察される。

2 落水音の周波数特性

次に、越流水深ごとの落水音のパワースペクトル、すなわち周波数に対する音圧レベル分布を検討する。分布の特徴を捉えやすいように、越流水深を (a) 1～4cm と (b) 5～10cm に分けて示す (Fig.6)。いずれの水利条件にも共通しているのは、周波数 6Hz 付近に音圧レベルの極小値があり、それから周波数が小さくなるにつれて音圧レベルが上昇すること、および 2000Hz 以上の高周波数領域では、周波数の違いによる音圧レベルの変化が小さいことである。ただし、前者については、後述する V で示すように、落水が水膜を形成していない場合にも同様の現象は発生し、また VI で示すように、屋外にある実際の頭首工では同様の現象は観測されないことが多い。このため、周波数 6Hz 以下の音圧レベル上昇は、モデルの共振等によるものと考え、以下の分析からは除外する。なお、

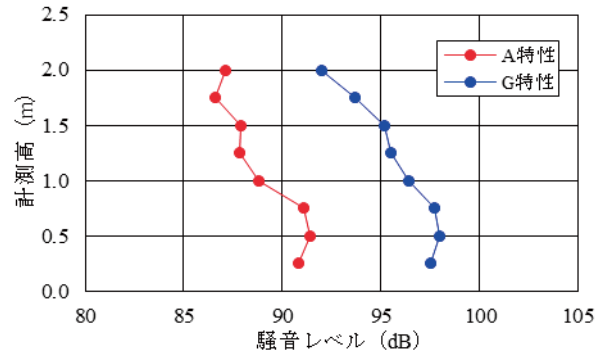


Fig.8 計測高に対する騒音レベル
A-weighted and G-weighted sound pressure level against measurement height

この周波数領域の音圧レベルは、G 特性ではほとんど考慮されないので、分析結果に実質的な影響はない。

越流水深 1～4cm では、越流水深が増加するに従って、周波数 10～2000Hz の音圧レベルが大きく上昇している (Fig.6 (a))。ピークが現れる周波数に多少の違いはあるが、スペクトルの形状もよく似ている。ここで、越流水深 1cm の音圧レベルは低いが、このときの水膜は非常に薄くて不安定で、水膜の下方で水しぶきが観察される (Fig.7 (a))。このため、水膜の形成が不完全で、水膜と堰の間は完全な閉空間にはなっておらず、水膜の下端が堰から離れている。越流水深が増加して水膜が厚くなってくると、水膜はしだいに安定して、越流水深 4cm では水しぶきが見られなくなる (Fig.7 (b))。このときは水膜と堰の間が閉空間となり、水膜の下端が堰の方に吸い寄せられる。

一方、越流水深が 5cm を越えると、水深の増加に伴って、音圧レベルは全周波数領域に渡ってわずかに上昇する (Fig.6 (b))。また、周波数スペクトルの形状はほぼ同じであり、いずれの越流水深でも、周波数 40Hz に音圧レベルのピークがある。スペクトルの形状が似ている水利条件では、落水音の発生機構も同様であると考えられるので、越流水深が 2～4cm で発生している低周波騒音については、5cm 以上の水深で発生するそれとは異なる騒音の発生機構を有していると考えられる。

なお、低周波音による心身に係る苦情に関する参照値は、1/3 オクターブバンド中心周波数の音圧レベルについても定められており、Fig.6 で音圧レベルのピークがある周波数 40Hz では 57dB となっている（環境省環境管理局大気生活環境室，2004）。したがって、音圧レベルの参照値に従えば、越流水深が 1cm の時を除き、超低周波音の発生による苦情が寄せられた場合には、対応が必要な騒音が発生していることがわかる。

3 音圧レベルの鉛直分布

騒音の発生位置を探るために、低周波騒音がもっとも

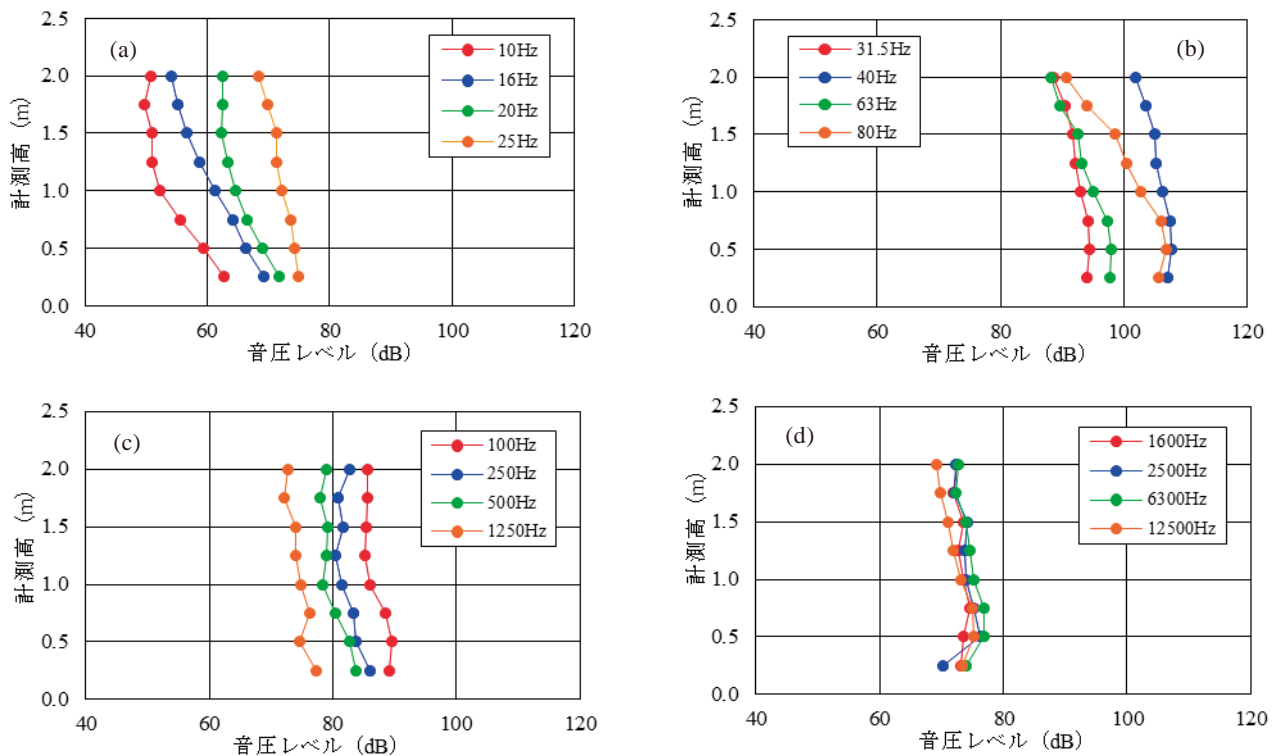


Fig.9 高さ方向の音圧レベル分布
Distribution of sound pressure level against measurement height

大きくなる越流水深4cmで、鉛直方向の音圧レベル分布を評価する。床版から鉛直上向きに0.25mの地点から、0.25m刻みで堰高2mの地点まで騒音を測定する。

計測高に対する騒音レベルを見ると(Fig.8)，いずれの高さにおいてもG特性値がA特性値を上回っている。また，A特性値，G特性値とも床版に近いほど騒音レベルが高くなる。計測高0.25～0.75mの騒音レベルはほとんど変わらないが，わずかに0.5mの値が高い。このことから，床版よりやや上方の水膜自体から，大きな騒音が発生していることがわかる。

次に，高さ方向の音圧レベル分布(Fig.9)を示す。ただし，すべての1/3オクターブバンド中心周波数を示すと特徴が把握しづらいので，音圧レベルの分布形状が似ている周波数領域ごとに結果を分類し，各領域で4つの周波数を選んで表示した。Fig.9(a)～(d)から，周波数領域ごとの音圧レベルの高さ，分布形状が異なっていることがわかる。

周波数10Hzから25Hzにかけては，音圧レベルがしだいに上昇する。そのピークは床版から0.25m地点にあり，床版近傍の騒音が大きいことを示唆している。周波数がそれを超えると，音圧レベルは急に高くなる。30～80Hzの音圧レベルは，他の周波数領域に比べてもかなり高く，そのピークは床版から0.5m地点にある。ただし，周波数ごとの音圧レベルは，不規則に上下している。100Hzから1200Hzにかけては，音圧レベルがしだ

いに低下していく。そのピークは0.25m地点である。さらに，周波数が1600Hzを越えると音圧レベルの変化が小さくなる。そのピークは0.5m地点である。

このように，周波数領域によって高さ方向の音圧レベル分布は大きく異なっており，床版と床版から上方0.5m付近に大きな音源が存在することが示唆された。特に，G特性値に大きく影響しているのは，Fig.3のフィルター特性とFig.9の音圧レベルの大きさから，30～40Hz付近の音圧レベルである。この周波数領域の音圧レベル分布は0.5mにピークを持つことから，越流水深2～4cmで発生しているG特性値のピークは，水膜下方の振動が主要な音源になっていると考えられる。

IV 低周波騒音低減工法の課題

1 スポイラの原理

水膜振動の防止対策としては，一般にゲート天端の突起，すなわちスポイラの設置が挙げられる。これは，スポイラにより水膜を分断して，背面を開いた空間とすることで，その圧力を開放する方法である。低周波騒音の発生原因は，水膜と大気の間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形成される閉空間の圧力変動が相互に作用することとされている(竹林ら，1986)。したがって，スポイラは後者の要因を取り除くことによって，水膜振動

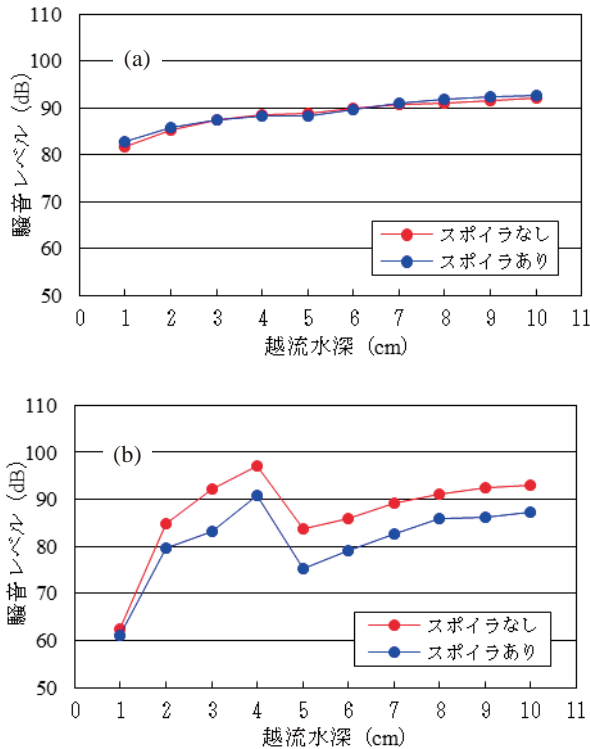


Fig.10 スポイラの有無と騒音レベルの関係：
(a) A 特性値, (b) G 特性値

(a) A-weighted and (b) G-weighted sound pressure level against overflow depth with or without a spoiler

の抑制を図ろうとするものである。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3~4cm程度と小さい場合には、スポイラの設置間隔を1m程度に狭くしても、低周波領域で音圧レベルのピークが発生することが報告されている(後藤ら, 2008)。以下では、新たな対策工開発の指針を得るため、スポイラの設置が騒音に与える影響を分析し、従来工法の問題点を明らかにする。

2 スポイラの騒音低減効果

Ⅲと同じ水理条件で、スポイラの有無と騒音レベルの関係について調べた(Fig.10)。なお、このときのスポイラは角材で代用し、越流堰の端に1つだけ設けた。図から明らかなように、A特性値はスポイラの有無に関わらず変化がない。一方、G特性値は、越流水深2~10cmまで、騒音レベルがほぼ均等に5~10dB低下している。ところが、越流水深が2~4cmの騒音レベルは、スポイラがないときのそれと同様に上昇しており、この水理条件での騒音を消去できていない。

Fig.11に、スポイラの有無に対する水膜の形状を示す。水理条件は、G特性値がピークを示す越流水深4cmの場合である。スポイラがないと、水膜は越流堰の方向に引き寄せられ、また水膜の下方に顕著な振動が認められる。Ⅲで述べた、越流水深2~4cmにおけるG特性値

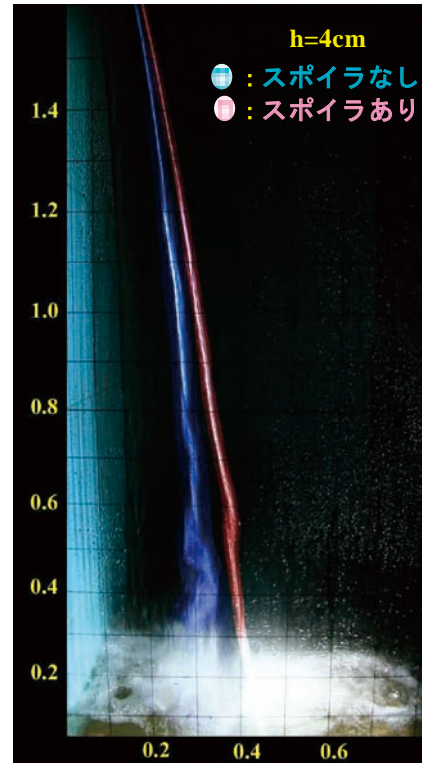


Fig.11 スポイラの有無と水膜の形状：越流水深4cm
Shape of water screen with or without a spoiler:
overflow depth = 4cm

のピークの音源は、水膜のこの部分の振動が原因と考えられる。一方、スポイラがあると、水膜の位置が流下方向前方に移動する。すなわち前者では、水膜背面に閉じ込められている空気が負圧になっており、後者ではスポイラにより給気が行われた結果、水膜の位置が移動したと考えられる。

このように、小さな越流水深時の低周波騒音が効果的に抑制できない事例は各地で見られる。高木ら(2010)の調査によれば、一般に水膜振動の抑制に効果があるとされる3mより狭い間隔で設置されたスポイラ(農林水産省構造改善局建設部設計課, 1999)からでも、実際にはかなり大きな低周波騒音が発生している。

次に、スポイラの有無によるパワースペクトルの変化をFig.12に示す。ただし、越流水深7cm以上では、スペクトル形状が水深6cmのそれとほぼ同じとなるので図を省略した。いずれの水理条件でも、スポイラのパワースペクトル形状はスポイラがないときとほぼ同じである。低周波領域の音圧レベル上昇が水膜振動に起因するものだとすれば、スポイラはその現象そのものを抑制できていない。これは、スポイラが水膜背面の閉空間の開放のみを目的としたもので、水膜の形成とその振動の抑制には機能しないためである。つまり、スポイラは、水膜の規模を縮小することで、低周波領域の音圧レベルを低下させる効果がある装置だということになる。なお、

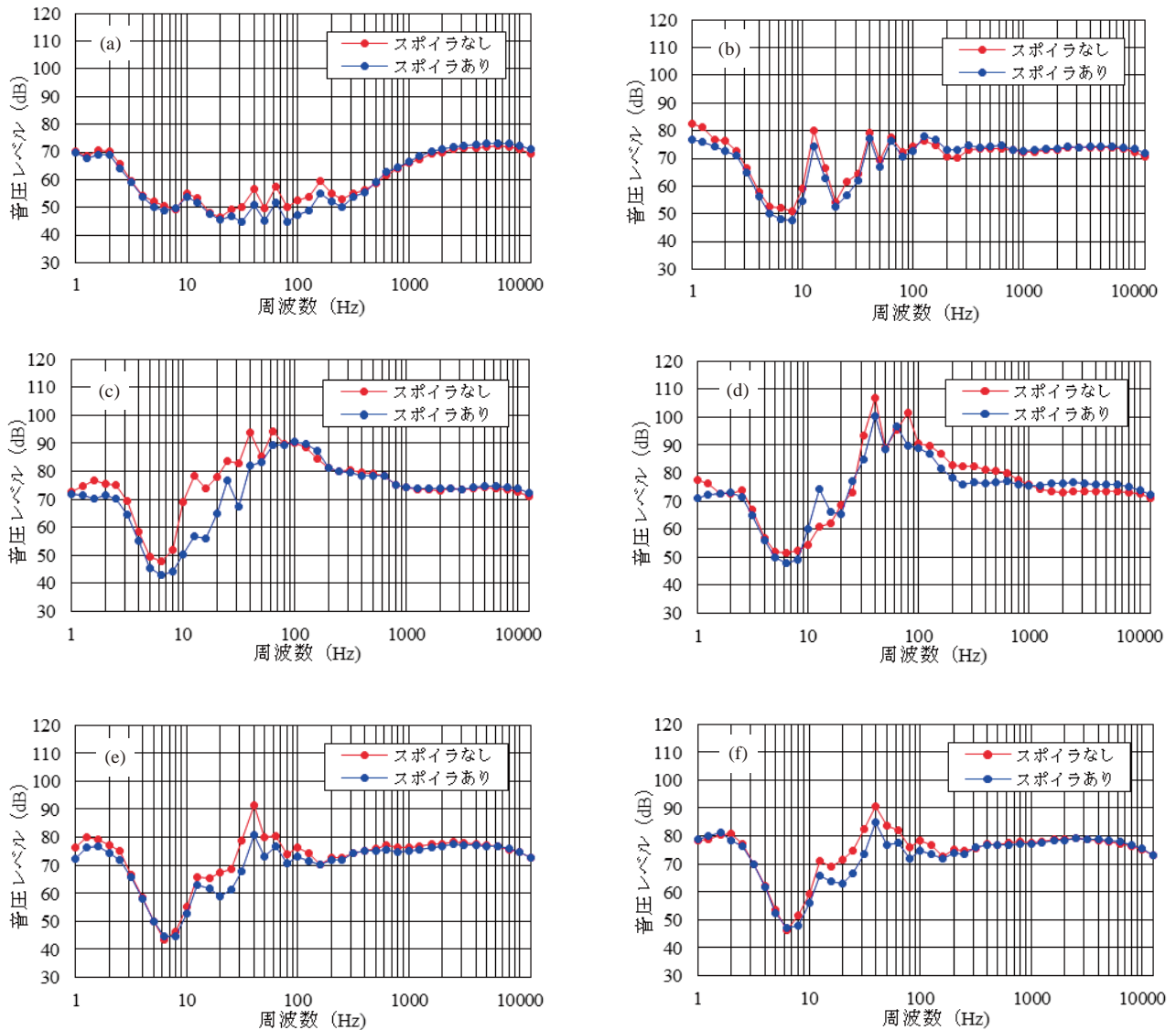


Fig.12 スポイラの騒音低減効果：越流水深 (a) 1cm, (b) 2cm, (c) 3cm, (d) 4cm, (e) 5cm, (f) 6cm
Noise reduction effect of a spoiler: overflow depth = (a) 1cm, (b) 2cm, (c) 3cm, (d) 4cm, (e) 5cm, (f) 6cm

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も考えられる。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。よって、水膜の形成を阻害しない限り、低周波騒音を効果的に抑制することは困難であろうと考えられる。

V 新たな低周波騒音低減工法

1 原理と特徴

スポイラは越流水膜を堰天端で分断し、水膜背面の閉空間を開放することに着眼した工法である。しかし、IVで示したように、スポイラによる低周波騒音の抑制効果は、顕著なものとは言えない。これは、水膜の存在自体

が低周波騒音を誘発していることを示している。そこで、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Table 1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。

- 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越流部の下方に取り付けることにより、越流部の機能や越流係数等に影響しない。
- 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既存の堰でも、後付で容易に設置が可能である。

2 騒音低減効果の検証

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 **Table 1** のように変化させて、Ⅲと同じ水理条件、計測方法で騒音を測定した。このとき、対策工の間隔は対策工の幅と同一にした。

箱型対策工の騒音レベル (**Fig.13**) のうち、A 特性値を見ると、対策工の幅が小さくなるにつれ、騒音レベルが若干低下する。しかし、対策工がない場合と比べて、騒音低減効果はわずかである。一方 G 特性値は、対策

工の幅が小さくなるにつれ、騒音レベルが大きく低下する。特に、騒音レベルが高かった越流水深 2~4cm で、20~30dB 余り低下している。越流水深がそれを越えても、20dB 程度の低減幅はあるが、水深が 9~10cm になると、騒音の低減効果は小さくなる。

次に、桶型対策工の騒音レベル (**Fig.14**) では、箱型対策工と同じく、A 特性値の低下はわずかである。しかも、対策工の幅による違いはほとんど認められない。一方 G 特性値も、箱型対策工と同じく対策工の幅が小さくなるにつれ、騒音レベルが大きく低下する。しかし、対策工の幅による騒音低減効果の違いが少なく、越流水深が 9~10cm においても、効果はほとんど低下しない。

ここで、箱型対策工のパワースペクトル (**Fig.15**) を見ると、低周波領域の音圧レベルは低下するが、その効果は越流水深 8cm 程度までにとどまっている。その範囲では、パワースペクトルの形状もほぼ同じで、周波数 10~1000Hz で発生していた音圧レベルの上昇も抑えられ、対策工の効果が顕著に現れている。つまり、水膜振動による騒音は、低周波領域だけではなく、10~1000Hz にわたって発生している。対策工は、この周波数領域の音圧レベルの上昇を抑制することができるので、その効果は超低周波数領域の騒音指標である G 特性値の低減だけにとどまらない。しかし、越流水深が 9cm になると、対策工のスペクトル形状は、対策工がない場合と同様になってしまう。これは越流エネルギーの増

Table 1 実験に使用した対策工の寸法と設置数

Dimension and number of installation of countermeasure works used by experiments

形状	B (cm)	H (cm)	D (cm)	基数
箱型	50	30	10	1
	30	30	10	2
	25	30	10	3
	20	30	10	4
	15	30	10	5
桶型	30	10	30	2
	25	10	30	3
	20	10	30	4

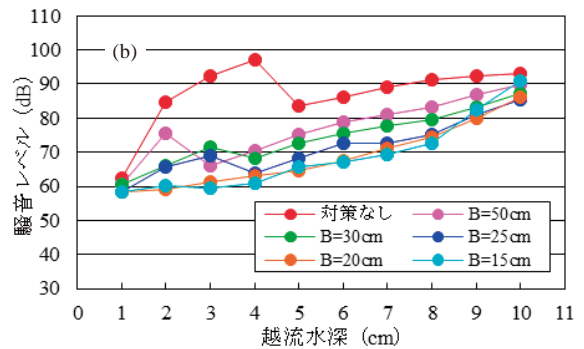
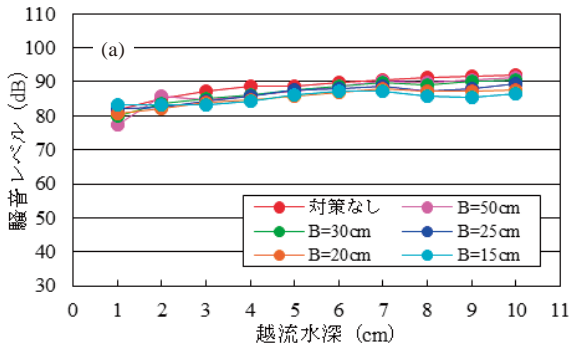


Fig.13 箱型対策工設置時の騒音レベル：(a) A 特性値, (b) G 特性値 (B は対策工幅)

(a) A-weighted and (b) G-weighted sound pressure level at box-type countermeasure works against overflow depth (B: width of countermeasure work)

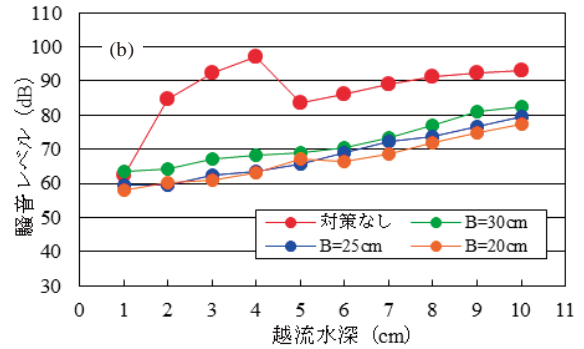
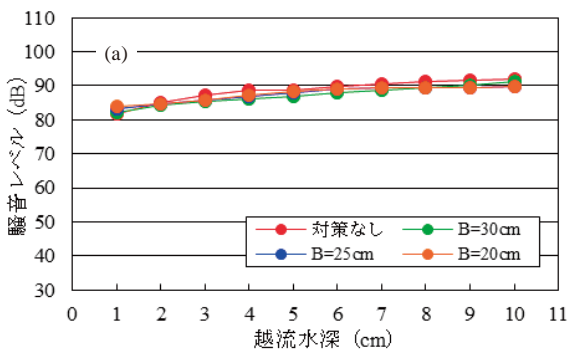


Fig.14 桶型対策工設置時の騒音レベル：(a) A 特性値, (b) G 特性値 (B は対策工幅)

(a) A-weighted and (b) G-weighted sound pressure level at gutter-type countermeasure works against overflow depth (B: width of countermeasure work)

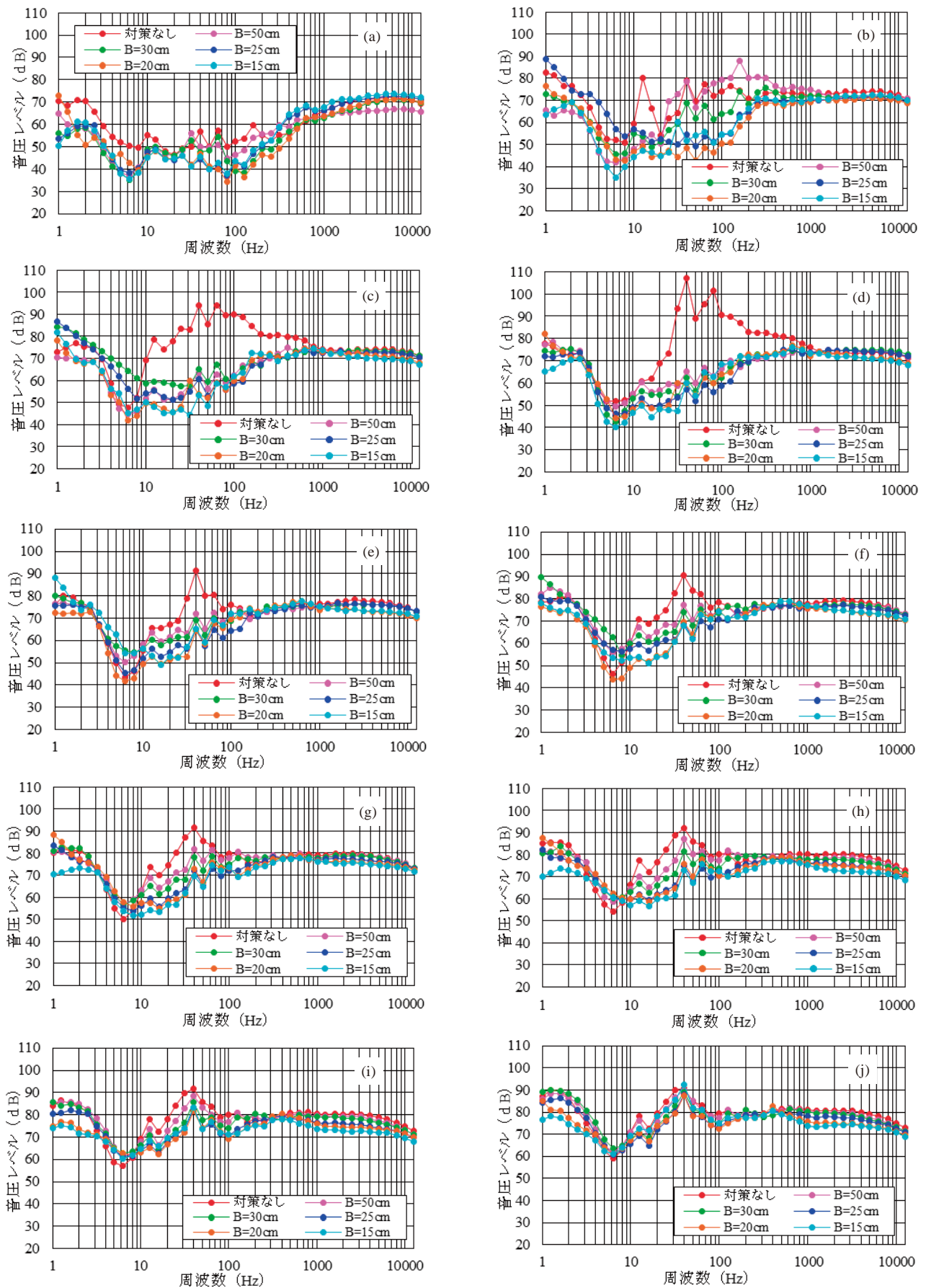


Fig.15 箱型対策工設置時のパワースペクトル (B は対策工幅) : 越流水深 =

(a) 1cm, (b) 2cm, (c) 3cm, (d) 4cm, (e) 5cm, (f) 6cm, (g) 7cm, (h) 8cm, (i) 9cm, (j) 10cm

Power spectrum at box-type countermeasure works by overflow depth (B: width of countermeasure work)

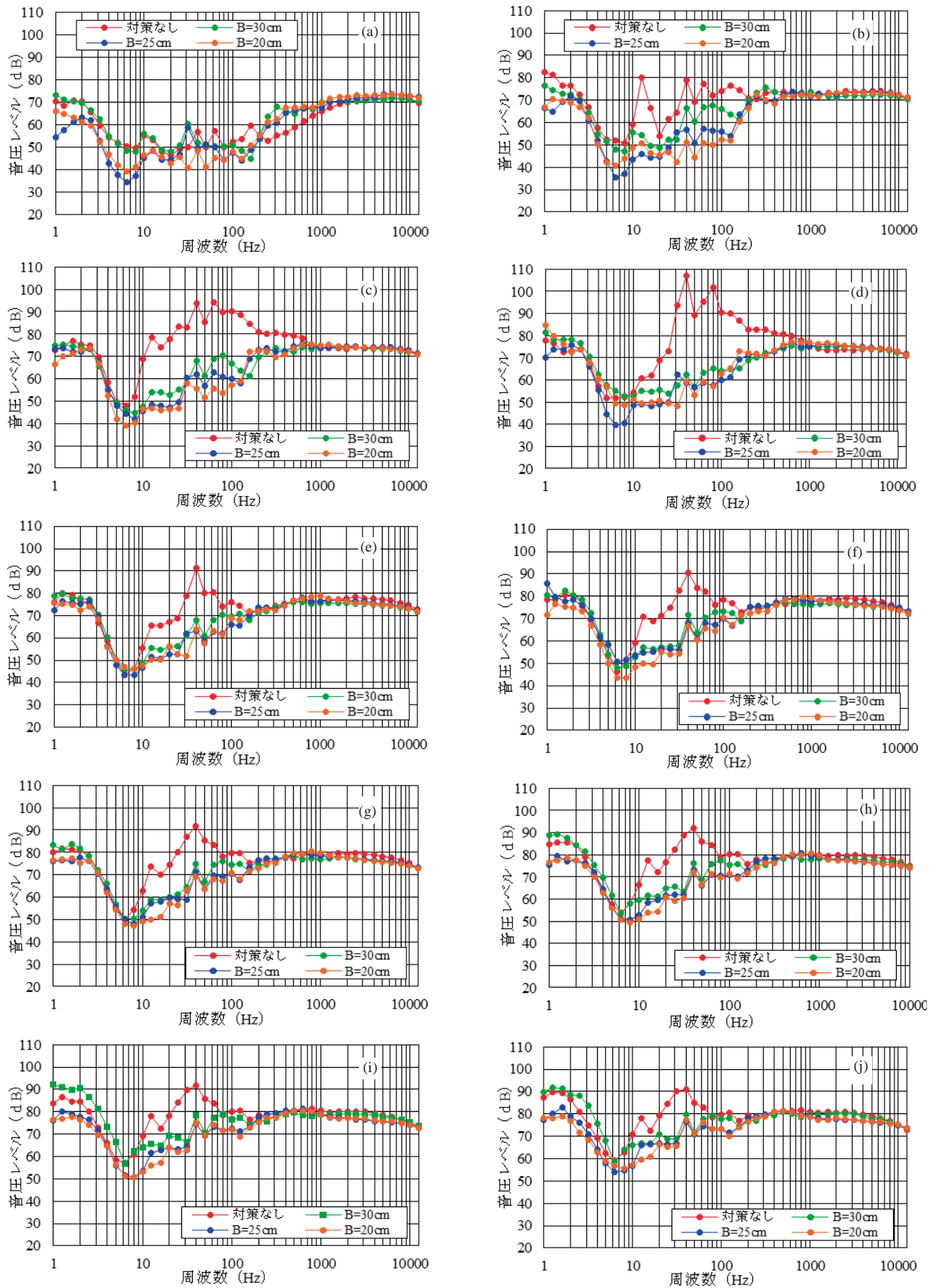


Fig.16 樋型対策工設置時のパワースペクトル (B は対策工幅) : 越流水深 =
 (a) 1cm, (b) 2cm, (c) 3cm, (d) 4cm, (e) 5cm, (f) 6cm, (g) 7cm, (h) 8cm, (i) 9cm, (j) 10cm
 Power spectrum at gutter-type countermeasure works by overflow depth (B: width of countermeasure work)



Fig.17 水膜の発生状況
Current state of water screen

加によって越流水が対策工を乗り越え、水膜が形成されることに起因している。なお、越流水深が1cmでは、水膜振動による低周波騒音が発生していないと考えられるので、対策工の効果は現れていない。

さらに、桶型対策工のパワースペクトル (Fig.16) を見ると、箱型対策工と同じく、低周波領域の音圧レベルが低下する。しかも、その効果は越流水深10cmまで変わらない。また、どの越流水深に対しても、パワースペクトルの形状はほぼ同じで、対越流水深1cmを除いて、対策工の効果が顕著に現れている。

以上のように、対策工は10～1000Hzの音圧レベル、ひいてはG特性値を顕著に低下させることが確認された。対策工を施すと、G特性値は越流水深の増加、言い換えれば越流エネルギーの増加に伴い、単調に上昇することが示されている (Fig.13 (b), Fig.14 (b))。このことから、対策工の有無による騒音レベルの差は、越流エネルギーとの関係が薄い水膜振動による騒音であると考えられる。ただし、いずれの対策工もA特性値への騒音低減効果はない。また、二つの対策工を比べると、対策工の幅の違いや越流水深の変化に対して、安定した騒音低減効果が得られる桶型対策工が優位である。

ところで、水路における浮遊ゴミの流下が多い場合、対策工へのゴミの付着が懸念される。このため、越流堰上流へ落葉や枯枝を投入して、対策工へのゴミの付着状況を観察した。その結果、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が、桶型の装置は従来型のスポイラに比べても、ゴミへの耐性は高いことが確認された。

以上の結果から、越流堰からの水膜振動に起因する低周波騒音の低減には、幅25cm程度の桶型対策工の設置が効果的と言えよう。その効果は、低周波音による心身に係る苦情に関するG特性の参照値を大きく下回ったが、1/3オクターブバンド中心周波数の音圧レベルについてはいくらか上回っている。しかし、落水騒音を示すパワースペクトルの形状から判断すると、低周波領域の音圧レベル低減幅はこの程度が限界であろう。

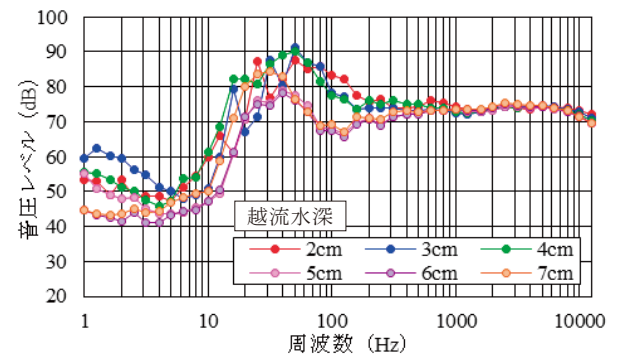


Fig.18 越流水膜から発生する騒音のパワースペクトル
Power spectrum at water screen by overflow depth

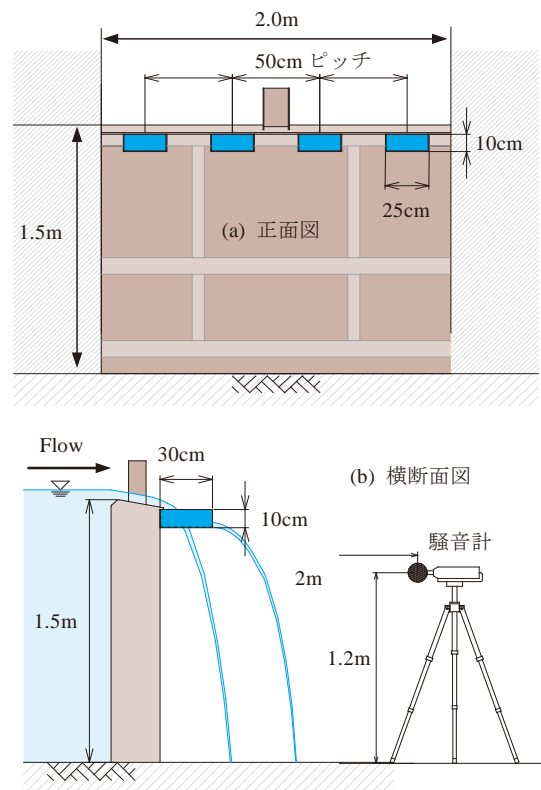


Fig.19 土砂吐ゲートに取り付けられた対策工
Countermeasure works fixed on the sand sluice gate

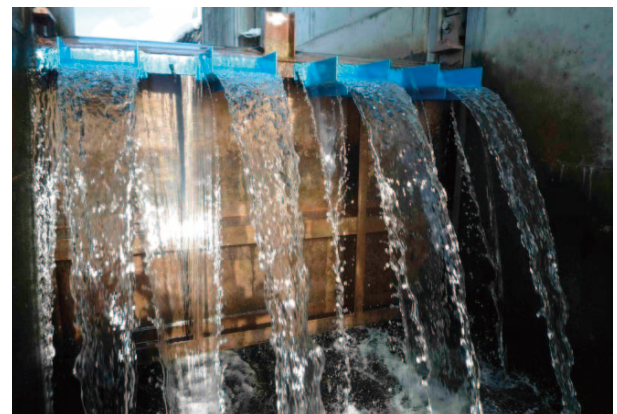


Fig.20 対策工からの越流状況
Overflow state through countermeasure works

VI 現地実証試験

1 地区の現況

現地実証試験は、福島県喜多方市の大塩川にかかる諏訪頭首工で実施した。諏訪頭首工は、幅 23.275m、高さ 1m のゴム引き布製洪水吐ゲート 1 門、幅 2m、高さ 1.5m

の鋼製土砂吐ゲート 1 門等で構成される可動堰である。洪水吐ゲートと土砂吐ゲートの天端高は等しく、取水時には双方のゲートからの越流が見られる。土砂吐ゲートは引き上げ式のスライドゲートであり、ゲート中央にスポイラが備わっている。越流幅は 1m 程度になるので、一般には水膜振動が発生しない条件である（農林水産省

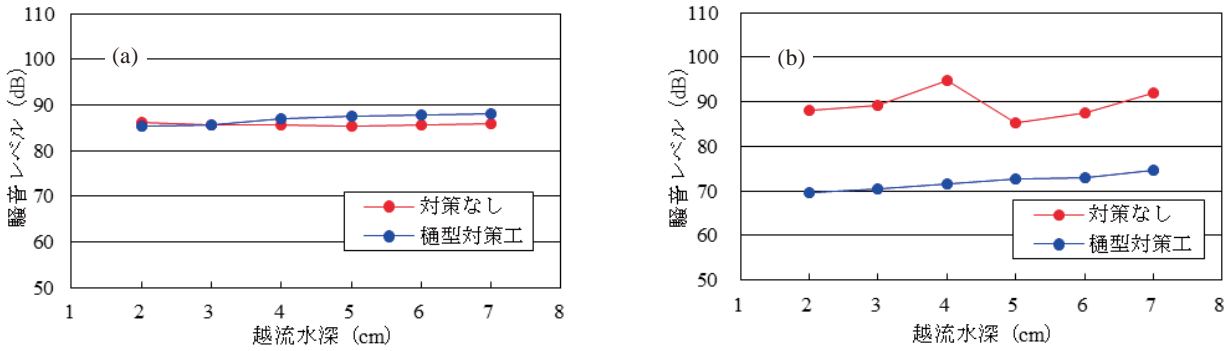


Fig.21 樋型対策工設置時の騒音レベル：(a) A 特性値, (b) G 特性値

(a) A-weighted and (a) G-weighted sound pressure level at gutter-type countermeasure works against overflow depth

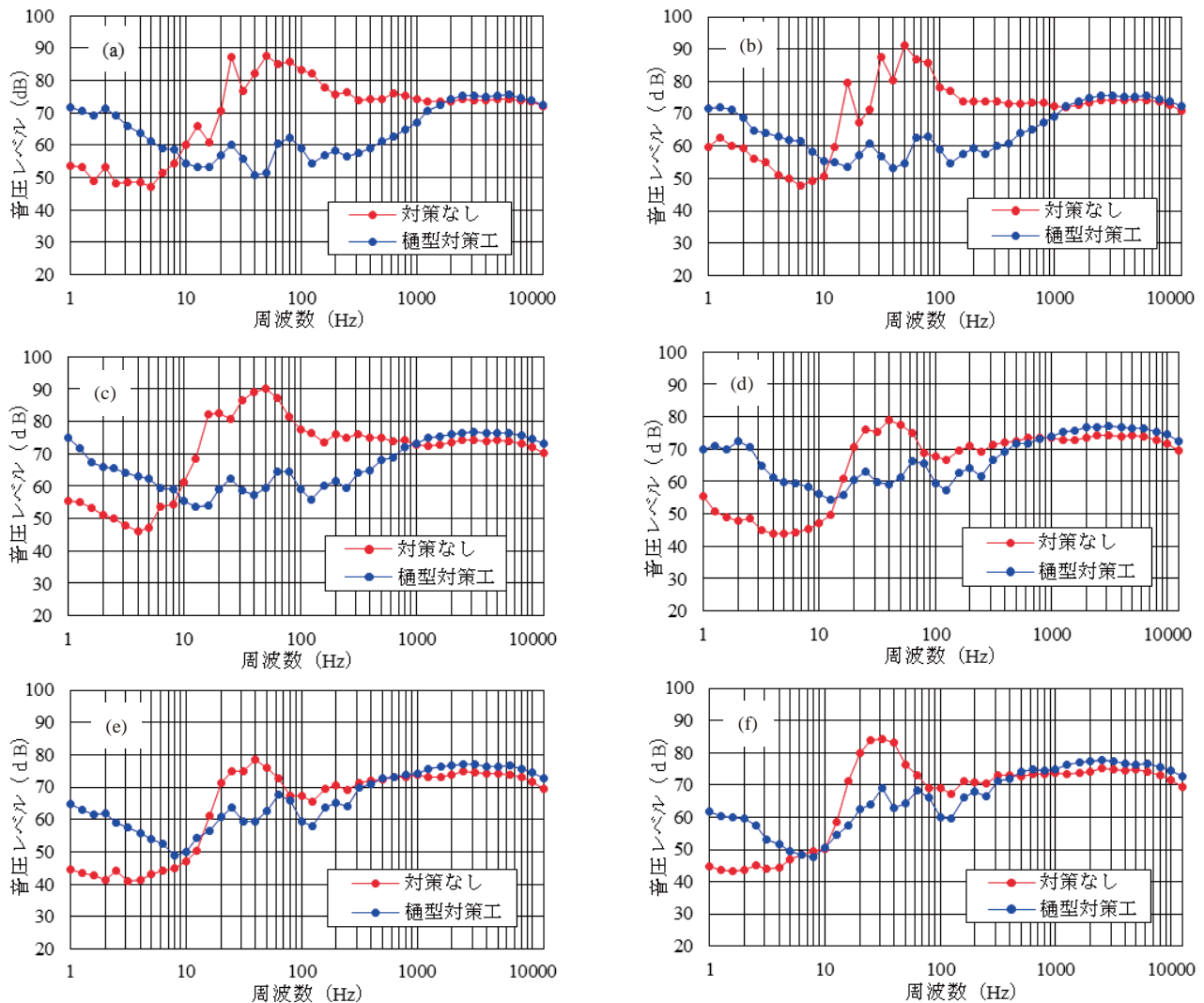


Fig.22 樋型対策工設置時のパワースペクトル：越流水深 (a) 2cm, (b) 3cm, (c) 4cm, (d) 5cm, (e) 6cm, (f) 7cm

Power spectrum at gutter-type countermeasure works: overflow depth = (a) 2cm, (b) 3cm, (c) 4cm, (d) 5cm, (e) 6cm, (f) 7cm

構造改善局建設部設計課, 1999)。しかし, 本研究でも確認されたとおり, この幅でもその越流水深が小さいときには水膜振動の発生が予想される。対策工の現地実証試験は, この土砂吐ゲートを対象に実施した。

対策工を設置する前の状況を把握するために, 洪水吐ゲートで頭首工上流の水位を調節して, 土砂吐ゲートにおける越流水深 2 ~ 7cm の音圧レベルを測定した。騒音の観測は, 計測位置をゲート直下流の高さ 1.2m, 距離 2m の地点とし, 模型実験と同じ要領で行った。ここで, ゴム引き布製洪水吐ゲートからの騒音は, 越流式ゲートからのそれに比べて相対的に小さいと考えられること, また土砂吐と洪水吐が導流壁で仕切られていることを考慮して, 洪水吐からの騒音の影響は無視した。

目視によれば, 越流水深を 1cm 刻みで変化させると, いずれのケースでもゲートからの越流水脈は水膜となって流下する (Fig.17)。音圧レベルの観測結果では, すべての越流水深について, 100Hz 以下の低周波領域に音圧レベルのピークがある (Fig.18)。特に, 越流水深 2 ~ 4cm の音圧レベルが高い。また, 10Hz 以下の超低周波数領域では, 室内実験に見られたような周波数低下に伴う音圧レベルの上昇はほとんど見られない。このように, この洪水吐ゲートには中央にスポイラが付いているが, 水膜振動が発生する流況では, 低周波騒音の低減に役立っているとは言いがたい。

2 樋型対策工の設置とその効果

樋型対策工の規格は, 室内実験で得られた諸元, すなわち幅 25cm, 高さ 10cm, 奥行き 30cm とした。また, 対策工は, 土砂吐ゲートの幅 2.0m に合わせて 4 基制作し, 現地で溶接により附設した (Fig.19)。

対策工の附設後, 水膜の状態であった越流水脈は, 模型実験の結果と同じく, 水束となって流下するようになった (Fig.20)。対策工附設前後の騒音レベルの低減状況を越流水深ごとに比較すると, A 特性についてはほとんど変化が見られないものの (Fig.21 (a)), G 特性については約 20dB の低減を達成し, 低周波騒音の削減に大きな効果が現れた (Fig.21 (b))。これらの特性を詳しく調べるために周波数ごとの音圧レベルをみると (Fig.22), いずれの越流水深でも周波数 10 ~ 1000Hz の範囲で対策工の効果が現れ, 特に越流水深が小さくなるほどそれが顕著になることが明らかとなった。スペクトルの形状も越流水深に対して変化がない。

現況で最も低周波騒音のピークが大きかった越流水深 4cm のパワースペクトルを比較すると (Fig.22 (c)), 周波数 50Hz で 90dB の音圧レベルを示していたのが, 対策工の設置によって 63Hz で 65dB にまで低下している。また, 周波数が 1000Hz を越えると音圧レベルが変わらないことから, 対策工が A 特性にほとんど影響しないことも明らかである。なお, 周波数 10Hz 以下では, 対策工を敷設した場合の音圧レベルが現況を上回ってい

る。原因としてはゲートの共振等が疑われるが, G 特性は周波数 10Hz 以下での負の補正量が大きいので, G 特性値の算定には影響しない。

このように, 本研究で提案された樋型の低周波騒音低減対策工は, 現地においても室内実験とほぼ同様の効果が得られた。

Ⅶ 結 言

農業水利システムでは, 取水や送水管理のために越流堰のような落水を伴う構造物を設置することがある。このような施設では, 音源を完全に断つことは不可能であるから, その特性を考慮した音源対策を施すか, 場合によっては大規模な防音対策を採らざるを得ない。いずれにしても, 騒音対策は騒音抑制レベルと対策コストのバランスを取りながら, その実行可能性を探る作業である。

本研究で提案した対策工は, 高さ 2m 程度の比較的落差の越流堰で, 越流水深 10cm 以下の小規模越流時に発生する低周波騒音を対象としたものである。したがって, 堰高がこれを大きく越えたり, 越流水深が大きくなったりするときに発生する低周波音には, 別途検討が必要である。これらは今後の課題としたい。

本対策工では, 従来工法であるスポイラのように水膜背面の閉空間を開放するだけでなく, 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に着目した。箱型, 樋型の 2 種類の対策工を試作したが, 対策工の幅の違いや越流水深の変化に対し, 安定した騒音低減効果が得られる樋型対策工が推奨された。この対策工は, 現地においても簡易な取り付けが可能で, かつ 20dB 程度の G 特性値の低減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。

参考文献

- 1) 後藤眞宏・浪平 篤・小林宏康・常住直人・関谷明 (2008) : 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, 139 - 147
- 2) 環境庁大気保全局 (2000) : 低周波音の測定方法に関するマニュアル, <http://www.env.go.jp/air/teishuha/manual/index.html>
- 3) 環境省環境管理局大気生活環境室 (2002) : 低周波音防止対策事例集, <http://www.env.go.jp/air/teishuha/jirei/index.html>
- 4) 環境省環境管理局大気生活環境室 (2004) : 低周波音問題対応の手引書, <http://www.env.go.jp/air/teishuha/tebiki/index.html>
- 5) 環境省水・大気環境局大気生活環境室 (2010) : 平成 21 年度騒音規制法施行状況調査について, http://www.env.go.jp/air/noise/kujou_h21/index.html

- 6) 経済産業省 (2005) : 電気音響—サウンドレベルメータ (騒音計) — 第1部 : 仕様, 日本工業規格 C1509-1
- 7) 日本音響材料協会 (1982) : 騒音・振動対策ハンドブック, 技報堂出版, 3-36
- 8) 農業農村整備情報総合センター (2009) : 事業誌・技術誌に見る農業水利施設諸元考, 80
- 9) 農林水産省構造改善局建設部設計課 (1999) : 鋼構造物計画設計技術指針 (水門扉編) 改訂版, 244
- 10) 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 (2010) : 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, 383-388
- 11) 高木強治・後藤真宏・浪平 篤・関谷 明・峯岸雄一 (2010) : 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, 水土の知, 78 (12), 25-28
- 12) 竹林征三・野口一弘・増本晴久 (1986) : 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, 4(4), 70-79
- 13) 竹林征三・角 哲也・箱石憲昭 (1993) : 堰等からの放流に伴う低周波空気振動対策, ダム技術, 82, 4-21

Sound Characteristics of Spilled Water and Countermeasure Works of Low-Frequency Noise at Overflow Weirs

TAKAKI Kyoji, GOTO Masahiro, NAMIHIRA Atsushi, SEKIYA Akira
MINEGISHI Yuichi and NAGAMINE Takuo

Summary

Nowadays, it is not uncommon to see residential houses constructed along agricultural canals due to advancement of urbanization. Around installation sites of water management facilities such as gates and drops in agricultural canals, passing irrigation water generates overflow water noise. In this study, the sound characteristics of spilled water at overflow weirs are elucidated by detailed laboratory experiments. In addition, the issue of conventional art related to low-frequency noise reduction, countermeasure works to prevent vibration of water screen and its effect are indicated.

According to the experiments, low-frequency noise generates in any hydraulic conditions, however, the peak of noise shown in between 2 and 4cm of overflow depth generates due to turbulence and vibration of lower domain of water screen. Spoilers as a conventional work aims at only making enclosed region of the back of water screen open, and they aren't often unable to function in inhibiting the formation of water screen and its vibration.

Countermeasure works proposed in this study are aimed at low-frequency noise generated by water screen at relatively low drops around 2m. They not only make enclosed region of the back of water screen open such as conventional spoilers but also make falling water into water bundle, and inhibit the formation of water screen. Though we made two types of trial model, box type and gutter type countermeasure works, the gutter type model is recommended because they have stable noise reduction effect against the difference of width of works and the change of overflow depth. These countermeasure works can be installed easily in situ, and reduce G-weighted sound pressure level by 20dB or more.

Keywords : vibration of water screen, frequency characteristics, G-characteristic, A-characteristic, sound pressure