

〔農工研技報 207〕
〔139～147, 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

後藤眞宏*・浪平篤*・小林宏康**・常住直人*・関谷 明***

		目 次			
I	緒 言	139	IV	結言	144
II	実験概要	140		参考文献	144
	1 実験条件	140		Summary	146
	2 計測方法	141		Appendix	147
III	実験結果および考察	141			
	1 ゲートからの越流水による音の発生メカニズム	141			
	2 スポイラの間隔の違いと周波数補正特性	142			
	3 スポイラの間隔の違いと周波数特性	143			

I 緒 言

頭首工は、河川から農業用水を取水するために不可欠な施設である。一方で、近年の都市化や混住化の進展に伴い、頭首工の周辺に新たに居住する住民にとって、フラップゲートやローラーゲートなどのゲートからの越流水の落下に伴い発生する音が、環境公害として認識される場合がある。特に、越流水脈が薄い場合、低周波音が発生し、家具のがたつき等の物理的問題、頭痛や睡眠への影響といった心理的、生理的問題を誘発することがある（たとえば、落合ら、2002）。

ゲートからの越流水による低周波音の対策として、従来から、**Fig.1**のように、ゲートの天端に三角錐状あるいは三角柱状の突起物であるスポイラを設置することが有効との報告が多くなされている（杉山ら、1979；瀬戸口、1980；鈴木・鶴飼、1980；丹治ら、1984；塚本ら、1985）。しかしこれらの事例では、半ば経験的にスポイラが設置されており、ゲート高さ、ゲートにおける越流水深、スポイラの間隔等と発生する低周波音の特性との関係についての系統的な調査はなされていない。そのため、これらの事例による成果をそのまま他地区へ適用することは容易ではない。

また近年の各種の計測結果から、低周波音の発生メカニズムとしては、まず、ゲート下流の水溜池への越流水

の落下位置が移動することによって、越流水により形成される膜（以下、越流水膜）とゲートで囲まれた空洞の体積が変化し、さらにこれに伴って空洞内の空気の圧力が変動して空洞の固有振動数と共振すると、水膜の落下角度の規則的な変動に結びつき、安定した水膜振動が生じると推定されている（竹林ら、1986；竹林ら、1992）。そしてこのことから、低周波音の発生を防止するためには、スポイラによって水膜を分離して水膜とゲートで囲まれた空洞の圧力を解放することや、スポイラによって水膜の形状を変えて振動の形成を抑制することが有効と考えられており、どのような形状のスポイラをどのような間隔で設置すればこれらが達成されるかの検討も進んでいる（竹林ら、1993）。しかしここで検討されたのは、ゲートの天端に凹凸をつけることや、薄い板状のスポイラであり、前述のような三角錐状等ではない。このため、これらの設置によってゲートにおける越流特性が大きな



Fig.1 頭首工のゲートに設置されたスポイラ
Spoilers on the gate of headworks

*施設資源部水源施設水理研究室

**企画管理部防災研究調整役

***(株)建設技術研究所

平成 19 年 11 月 29 日受理

キーワード：キーワード：ゲート，越流水，低周波音，スポイラ，精密騒音計，低周波音レベル計

影響を受けると考えられ、また、これらには各種河川流下物が引っかかりやすいと考えられ、それらの実用化には課題が残されている。

以上により、スポイラを設計する際に利用できる情報としては、「扉体頂部に適切な形状のスポイラを取付ける。スポイラの間隔は3m程度以上が望ましい。」(農林水産省, 1999), 「スポイラの間隔は2~5m程度で、形状は三角錐あるいは三角柱とする場合が多い。なお、スポイラの高さについては、鋼製起伏ゲートの越流水深と同じく0.3m程度のもとし、越流水脈を左右に分割して上方より水脈下に給気を行い振動を防止できる構造とする。」(ダム堰施設技術協会, 1999) 程度のものしかないのが現状である。

さらに、上述した事例では、可聴音 (20Hz ~ 20kHz) に対する人の聴感を評価するための周波数補正特性 (A特性, Appendix参照) を計測するための騒音計が用いられている。一方、人間の耳では感じることのできない1~20Hzの音による人体感覚を評価するための周波数補正特性 (G特性, Appendix参照) を計測できる騒音計が開発されたのは10年以内である。そのため、ゲートや堰からの越流水に伴う音の計測においてG特性が対象とされた研究は、後藤 (2005), 後藤ら (2006), 関谷ら (2006) を除いてほとんど行われておらず、落下水音や水膜振動と低周波音の関係についての精度の高い知見は十分に蓄積されていないのが現状である。なお、後藤 (2005) によれば、G特性値は、越流水膜の背面で給気が行われず水

膜振動が発生した場合には、越流水深が小さいすなわち水膜が薄いほど大きくなる傾向を示し、越流水深約0.03m時では100dBを超える値となりうること、一方、給気が行われ水膜振動の発生が抑制された場合には、越流水深の減少に伴いG特性値は減少することが示されている。

本研究は、G特性計測可能な騒音計等を用いて、ゲートにおける落下水音の低減のために用いられるスポイラのプロトタイプの水理実験を行い、ゲート上の越流水深およびスポイラの間隔と低周波音の関係を報告するものである。

II 実験概要

1 実験条件

幅3mの水路内にゲートを想定した越流堰を設けた (Fig.2)。越流堰の高さは、全国の頭首工の土砂吐ゲートのうち7割程度が高さ1.0m~2.5mの範囲にあること (農業土木学会, 1990) を考慮しつつ、模型製作上の容易さから1.68mとした。実験における水理条件は、本模型を用いた予備実験において水膜振動により発生する水音の影響が顕著な越流水深として0.02m~0.06mの範囲とした。この範囲における越流水深と単位幅流量の関係を Fig.3 に示す。

そして、この越流堰の天端には、スポイラを想定して、底辺の長さが0.04m、高さが0.08mの二等辺三角形を底面 (Fig.4) とする三角柱を、堰頂部からの高さが0.10m

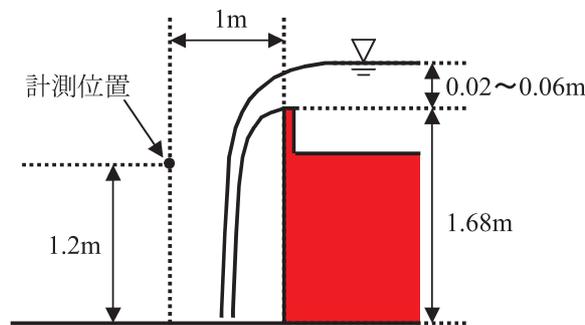


Fig.2 実験模型と計測位置
Hydraulic model and measuring point

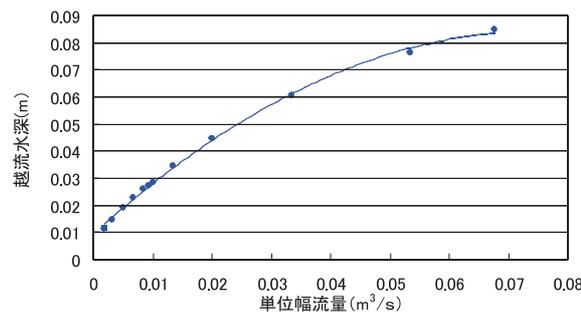


Fig.3 実験模型における越流水深と単位幅流量の関係
Relation between overflow depth and united width discharge in hydraulic model

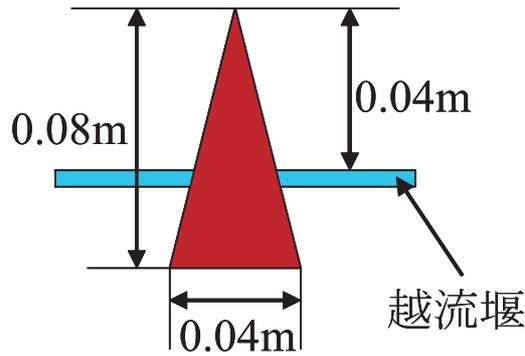


Fig.4 スポイラの平面図
Plan view of the spoiler

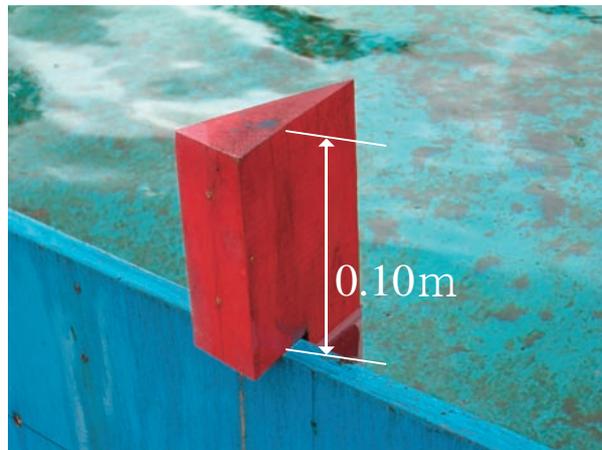


Fig.5 スポイラの鳥瞰図
Bird view of the spoiler

Table 1 スポイラの間隔
Spoiler interval

スポイラの間隔 (m)	—	3	2	1.5	1	0.75	0.375
スポイラの数	0	2	2 [*]	3	4	5	9

※ 片側の水路壁部分と、そこから水路横断方向に2m離れた箇所を設置した

となるように (Fig.5), Table 1の間隔で設置した。なお、スポイラの形状は、これの設置により前述の実験条件下では越流水膜が完全に分断されること、および、水没しないことを条件に決定した。また、越流堰の下流側では自由流出とし、ゲートの下流側には水濁池が生じない状況を再現した (Fig.2)。

2 計測方法

低周波音 (Appendix参照) は1Hz ~80Hzを計測できる低周波音レベル計 (リオン社製: NA-18A) で、可聴音 (Appendix参照) は12.5Hz ~12.5kHzを計測可能な精密騒音計 (リオン社製: NA-27) で測定した (Fig.6)。なお、今回用いた精密騒音計では可聴音域 (20Hz ~20kHz) のうち12.5kHz ~20kHzが計測範囲外であるが、2004年時点JIS規格ではA特性の計測対象が12.5Hz



Fig.6 計測に使用した騒音計
Sound level meter

～12.5kHzであることから、当該騒音計を使用することとした。それぞれ1分間の測定を2回を行い、平均値で評価を行うこととした。計測位置は、①ゲートからの越流水による音の発生メカニズムの解明のためには(Ⅲ.1)、平面的には水膜部の直下流0.1mおよびスポイラによる水膜分断部、鉛直方向については地上0.4m, 0.8m, 1.2m, 1.6mの4点とした。②スポイラ間隔と発生音の関係の解明のためには(Ⅲ.2, Ⅲ.3)、平面的には水路の中央縦断線上の堰下流1m, 鉛直方向については地上1.2mの1点とした(Fig.2)。なお、②の計測時の地上高さについてはJIS Z 8731に従った。

Ⅲ 実験結果および考察

1 ゲートからの越流水による音の発生メカニズム

スポイラの有無による違いも含め、ゲートからの越流水により発生する音の鉛直方向における違いを計測した。スポイラありの場合はTable 1の3個の状態とした。越流水深は、Ⅱ.1で述べた0.02m～0.06mの範囲のうち、0.03mに限定した。

まず、スポイラが設置されず、越流水膜によってその背面が外気と完全に遮断されている場合の水膜部直下流のG特性(Fig.7の▲)は、水路底に最も近い地上0.4m地点の値がもっとも大きく、地上0.4mの値>0.8m≧1.2m>1.6mと変化することが明らかとなった。また、このことから、越流水膜の背面が完全に遮断されている場合は、越流水が水路底と衝突する箇所での最大の音圧が発生し、水膜の表面に縞模様が形成されている地上0.8mから1.2mでは水膜振動による音圧が発生していると考えられる。なお、水膜が振動した場合にこのような模様が生じることが、竹林ら(1992)によって報告されている。

次に、スポイラが設置され、越流水膜が分断されている場合の水膜部直下流のG特性(Fig.7の◆)は、地上0.4mの値>1.2m>1.6m>0.8mと変化することが明らかとなった。地上0.8mから1.6mの値は他の2ケースよりも小さくなっており、このことはスポイラによる低周波音の低減効果であると考えられる。一方、地上0.4mの値は

他の2ケースより大きくなっているが、このことはスポイラの設置により堰からの越流水が水路底に衝突する面積が狭くなったために生じたと考えられる。

スポイラが設置され、越流水膜が分断されている場合の水膜分断部のG特性(Fig.7の●)は、地上0.4mの値≧0.8m>1.2m>1.6mと変化することが明らかとなった。地上0.8mから1.6mの値は他の2ケースよりも大きくなっており、このことは水膜振動により発生した音が水膜分断部に伝播したために生じたと考えられる。

以上より、スポイラ等によりゲートの天端で越流水膜が分断される場合、水膜の振動による音圧は低減するが、水膜が分断した区間や、越流水が水路底に衝突する箇所が新たな音源となる可能性があると考えられる。

2 スポイラの間隔の違いと周波数補正特性

越流水深を0.02mから0.06mの範囲で変化させたときのスポイラ間隔の違いと周波数補正特性の関係を調査した。なお、Ⅱ.2で述べたように、ここでは平面的には水路の中央縦断線上の堰下流1mの位置で計測を行う。Ⅲ.1ではスポイラありの場合は水膜直下流と水膜分断部とで計測される音が異なることを示したが、ここでの計測位置ではそのような差違が生じないことを事前に確認している。

精密騒音計によるA特性(Appendix参照)をFig.8, 精密騒音計によるFLAT(Appendix参照)をFig.9, 低周波音レベル計によるG特性(Appendix参照)をFig.10, 低周波音レベル計によるFLATをFig.11に示す。

Fig.8より、A特性はスポイラの有無およびその間隔の違いによる影響はほとんど受けず、越流水深の増加に伴って若干ではあるが高くなる傾向がみられる。一方、Fig.10より、G特性はスポイラ間隔が狭いほど、全ての越流水深において音圧レベルが低くなる傾向がみられる。また、越流水深とG特性には一定の関係は確認されなかったが、計測した範囲ではスポイラ間隔3mおよび0.375mを除きG特性のピーク値は越流水深0.03mに生じている。また、Fig.8～Fig.11より、可聴音のFLATはA特性よりも、低周波音のFLATはG特性よりも、スポイ

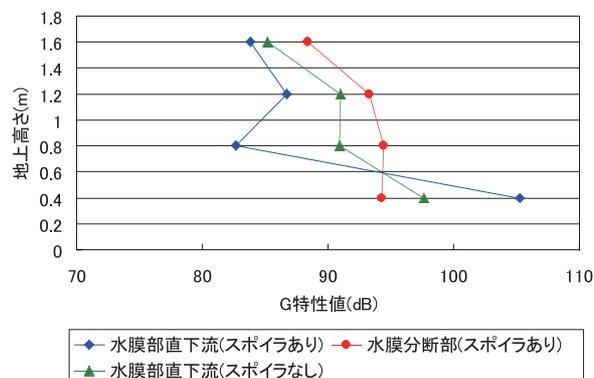


Fig.7 鉛直方向のG特性値の変化

Change of G characteristic value of perpendicular direction

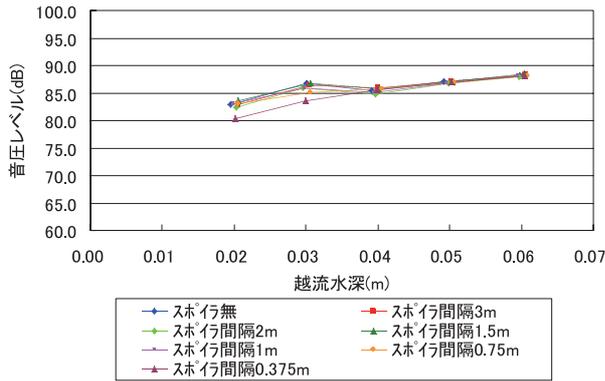


Fig.8 スポイラ間隔と精密騒音計によるA特性の関係
Relation between spoiler interval and A characteristic value by precision sound level meter

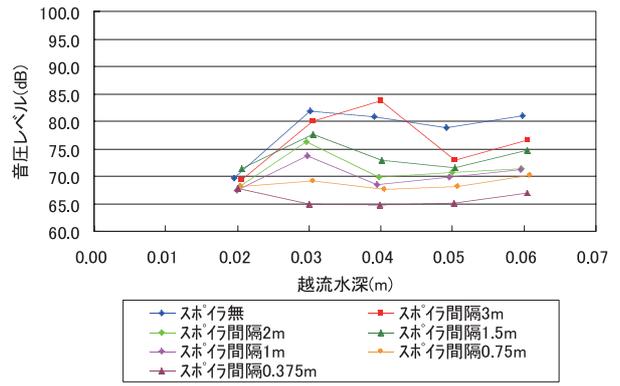


Fig.10 スポイラ間隔と低周波音レベル計によるG特性の関係
Relation between spoiler interval and G characteristic value by low frequency sound level meter

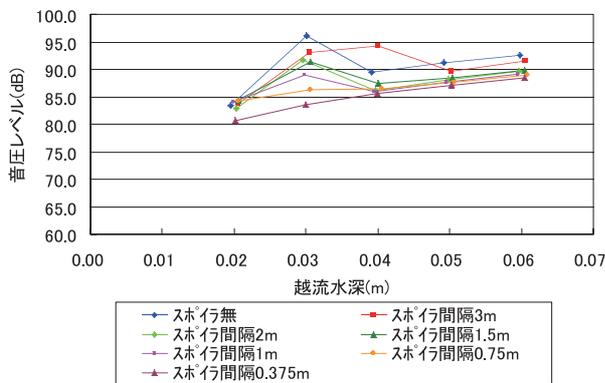


Fig.9 スポイラ間隔と精密騒音計によるFLATの関係
Relation between spoiler interval and FLAT by precision sound level meter

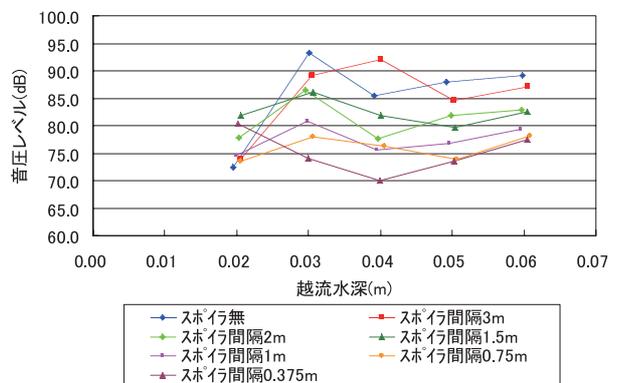


Fig.11 スポイラ間隔と低周波音レベル計によるFLATの関係
Relation between spoiler interval and G characteristic by low frequency sound level meter

ラ間隔の違いの影響がより大きく生じていることがわかる。特に可聴音のFLATでは、越流水深0.03m時にA特性では明確ではなかったピークが生じている。

3 スポイラの間隔の違いと周波数特性

II.2の計測の結果、Table 1のスポイラ間隔に関する実験ケースのうち、比較的多くのケースで音圧レベルのピークが確認された、越流水深が0.03mの場合を対象として、スポイラ間隔の違いと周波数特性 (Appendix参照) の関係を調査した。このとき、周波数100Hz未満は低周波音レベル計による計測結果、100Hz以上は精密騒音計による計測結果を用い、これらをつなぎ合わせて全ての周波数帯における音圧レベルを連続させた。その結果をFig.12に示す。また、このときの越流水膜の状況をFig.13～Fig.18に示す。Fig.13はスポイラなしの場合で、越流水膜は側壁に接している。Fig.14は両端にスポイラを設置した場合で、越流水膜の両端は側壁から離れている。

Fig.12より、①1,000Hz以上ではスポイラ間隔による音圧レベルの違いがほとんど生じないこと、②10Hz～1,000Hzまではスポイラ間隔が狭くなるのに伴って音圧レベルが低くなること、③10Hz以下ではスポイラ間隔

を狭くすることにより音圧レベルが高くなることが確認された。さらに、これらの結果とIII.2の結果より、スポイラ間隔を2～5m程度でよいとする現状の設計方針 (ダム堰施設技術協会, 1999) を見直す必要があると考えられる。なお、③は、周波数補正特性のうちG特性、低周

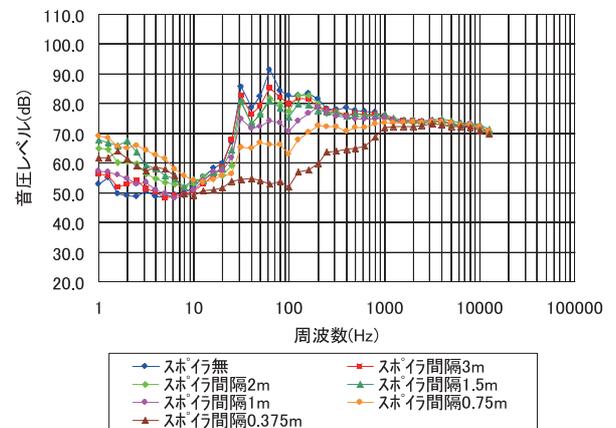


Fig.12 越流水深0.03m時のスポイラ間隔の違いによる周波数特性
Frequency response by difference of spoiler interval at overflow depth 0.03m



Fig.13 スポイラなしの場合の越流水膜 (越流水深0.03m)
Falling water sheet for no spoilers (overflow depth 0.03m)



Fig.16 スポイラ間隔1mの場合の越流水膜 (越流水深0.03m)
Falling water sheet for spoiler interval 1m (overflow depth 0.03m)

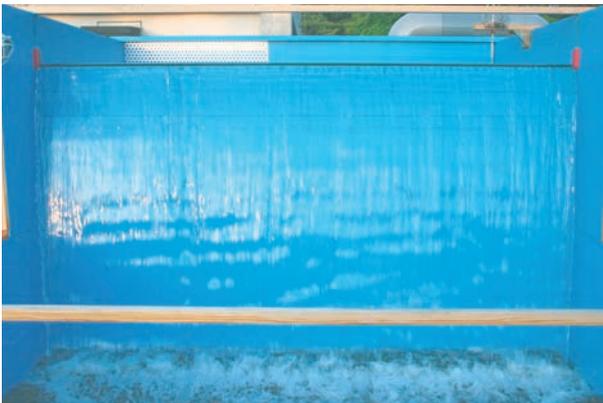


Fig.14 スポイラ間隔3mの場合の越流水膜 (越流水深0.03m)
Falling water sheet for spoiler interval 3m (overflow depth 0.03m)



Fig.17 スポイラ間隔0.75mの場合の越流水膜 (越流水深0.03m)
Falling water sheet for spoiler interval 0.75m (overflow depth 0.03m)



Fig.15 スポイラ間隔1.5mの場合の越流水膜 (越流水深0.03m)
Falling water sheet for spoiler interval 1.5m (overflow depth 0.03m)



Fig.18 スポイラ間隔0.375mの場合の越流水膜 (越流水深0.03m)
Falling water sheet for spoiler interval 0.375m (overflow depth 0.03m)

波音のFLATがともにスポイラ間隔が狭くなるのに伴って低くなったこと (Fig.10, Fig.11) と矛盾しているようにみえるが、G特性は10Hzを中心として補正される周波数補正特性であるため (Appendix参照), このような結果が得られたと考えられる。また、③の現象は、越流水膜の振動ではなく、スポイラ間隔が狭くなるのに伴って堰からの越流水が水路底に衝突する面積が狭くなった

ことにより生じたと考えられる。

Fig.13～Fig.18より、スポイラ間隔0.375mを除き、越流水膜に縞模様が生じていることが確認できることから。これらの状況では低周波音が発生していることがわかる。

IV 結 言

本研究では、プロトタイプの水理実験を行い、ゲートにおける越流水深およびスポイラの間隔と低周波音特性との関係を調査した。得られた結果を以下に整理する。

- (1) A特性は、スポイラの有無およびその間隔の違いによる影響はほとんど受けず、越流水深の増加に伴って大きくなることが確認された。
- (2) G特性は、スポイラ間隔が小さいほど、全ての越流水深において音圧レベルが低くなる傾向がみられる。また、越流水深とG特性には一定の関係は確認されなかったが、計測した範囲ではスポイラ間隔3mおよび0.375mを除きG特性のピーク値は越流水深0.03mに生じた。
- (3) 越流水深0.03mのときの周波数特性においては、①1,000Hz以上ではスポイラ間隔による音圧レベルの違いがほとんど生じないこと、②10Hz～1,000Hzまではスポイラ間隔が小さくなるのに伴って音圧レベルが低くなること、③10Hz以下ではスポイラ間隔を小さくすることにより音圧レベルが高くなることが確認された。
- (4) 上記(3)の③については、通常、低周波音の原因となる越流水膜の振動ではなく、スポイラ間隔が小さくなるのに伴って堰からの越流水がより狭い範囲に集中して水路底に衝突したことにより生じたものと考えられる。
- (5) 上記(1)および(3)③より、スポイラ間隔を2～5m程度でよいとする現状の設計方針を見直す必要があると考えられる。

参考文献

- 1) ダム堰施設技術協会 (1999)：鋼製起伏ゲート設計要領 (案), P.74
- 2) 後藤眞宏 (2005)：取水堰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, 環境省環境保全研究成果ダイジェスト集, P.75-80
- 3) 後藤眞宏, 小林宏康, 浪平篤, 常住直人 (2006)：堰下流面角度の違いによる落下水音の音響特性, 農業土木学会論文集, 242, P.19-27
- 4) 農業土木学会 (1990)：農業土木工事図譜 第4集 頭首工編
- 5) 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, P.244
- 6) 落合博明, 田矢晃一 (2002)：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, 26 (2), P.120-128
- 7) 関谷 明, 宮田 司, 高田保彦, 田代洋一 (2006)：低落差の堰における落下水騒音の特性と対策について, 河川技術論文集, 12, P.205-210
- 8) 瀬戸口忠臣 (1980)：低周波空気振動の苦情, 被害の実態と行政側の対応, 騒音制御, 4 (4), P.5-11
- 9) 杉山正春, 奥平文雄, 早川友邦 (1979)：堰堤から発生する低周波空気振動と対策事例, 公害と対策, 15 (9), P.43-47
- 10) 鈴木昭次, 鶴飼義雄 (1980)：低周波空気振動の発生と対策, 騒音制御, 4 (4), P.18-23
- 11) 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, Vol.4-4, P.70-79
- 12) 竹林征三, 角 哲也, 箱石憲昭 (1992)：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, Vol.71, P.4-17
- 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, Vol.82, P.4-21
- 14) 丹治 肇, 山本徳治, 吉野秀雄, 関谷 剛 (1984)：農業用水施設に発生する低周波空気振動の防止対策について, 農土誌報, 24, P.45-60
- 15) 塚本 駿, 功刀 旭, 石月 敏, 稲垣正雄, 原田稔, 田屋 健 (1985)：農業取水施設の低周波音と対策について, 農土誌, 53 (8), P.5-10

Low Frequency Sound of Overflow at the Gate and its Decrease Effect by the Spoilers

GOTO Masahiro, NAMIHIRA Atsushi, KOBAYASHI Hiroyasu,

TSUNESUMI Naoto and SEKIYA Akira

Summary

In order to clarify the relation between the low frequency sound and the interval of spoilers or overflow depth at the gate, the sound of falling water in the full-size hydraulic model of the gate was measured with a precision sound level meter and a low frequency sound level meter. Main results are shown in the followings.

(1) It is confirmed that A characteristic value grow as the overflow depth increase without receiving the influence of the presence of the spoiler and the difference at its intervals.

(2) The tendency that G characteristic value about all overflow depth lowers as the spoiler interval become small is seen. Though a constant relation was not confirmed to overflow depth and G characteristic, the peak value of G characteristic was caused at overflow depth 0.03m, except the case of the spoiler interval 3m and 0.375m, in the measured range.

(3) In the frequency response at the overflow depth 0.03m, it is confirmed that (i) the difference by the spoiler interval is hardly caused in the sound pressure level of 1,000Hz or more in frequency, (ii) the sound pressure level from 10 to 1,000Hz in frequency lowers as the spoiler interval becomes small, (iii) the sound pressure level of 10Hz or less in frequency rises by reducing the spoiler interval.

(4) It is thought that above-mentioned (3) (iii) was caused by not the vibration of falling water sheet which is a cause of the low frequency sound generation usually, but the collision with a narrower range in channel bottom of falling water than the case of no spoilers.

(5) It is thought to be necessary to review the current design policy the spoiler interval = 2~5m, from above-mentioned (1) and (3) (iii).

Keywords: gate, overflow, low frequency sound, spoiler, precision sound level meter, low frequency sound level meter

Appendix：音に関する用語

可聴音：一般に人間が聞くことのできる周波数範囲
20Hz～20kHzの音。

超低周波音：周波数範囲20Hz以下の音。

低周波音：100Hz以下の可聴音と超低周波音を含めた
周波数範囲の音。

周波数特性：音に対し、周波数帯毎の音圧レベル（dB）
を評価したもの。

周波数補正特性：

音に対し、周波数帯毎に重み付けを行って
合成し、一つの音圧レベル（dB）で評価
したもの。

A 特性：可聴音域に対する人の聴感を評価するた
めの周波数補正特性である。1,000Hzを中心
周波数とし、周波数毎に重み付けが行われ

る。精密騒音計を用いて計測する。騒音レ
ベルを評価するときに用いられるものであ
る。

G 特性：人が聴くことのできない1～20Hzの超低周
波音による心理的・生理的影響を人体感覚
として評価するための周波数補正特性であ
る。10Hzを中心周波数とし、周波数毎に
重み付けが行われる。低周波音レベル計を
用いて計測する。

F L A T：全く補正を行わない音圧レベルそのもので
ある。精密騒音計により可聴音のFLATを、
低周波音レベル計で低周波音のFLATを計
測する。

