

落差工の消音装置

後藤真宏*・浪平 篤*・常住直人*・正沢勝幸**・関谷 明**

目 次	
I 緒言	161
II 対象地区の騒音実態の現地調査	161
1 対象地区の概要	161
2 計測条件	162
3 水路沿いの流水音分布状況	162
4 落差工地点における周波数特性と流況との関係	164
III 水理模型実験の方法	166
1 消音装置の提案	166
2 水理模型と実験条件	167
IV 流況の実験結果	168
1 消音装置なしの流況	168
2 消音装置ありの流況	169
3 結果のまとめ	174
V 騒音特性の実験結果	174
1 流量毎の騒音特性	174
2 結果のまとめ	176
VI 消音装置の設計	176
1 諸元	176
2 木材の耐久性と維持管理	177
3 ワイヤーとロープの長所および短所	178
VII 現地施工法	178
1 事前作業	178
2 現場作業	180
VIII 結言	180
参考文献	180
Summary	181
Appendix	182

I 緒 言

農業農村整備事業によって大規模な農業水利システムが確立され、農業用水を農地へ安定して供給することが可能となり、農業の生産性は大きく向上した。一方で、農村地域では都市化や混住化が伸展し、農業用水路の周辺に新たに居住するようになった人々にとって水路の流水音、特に落差工等における落下水音が騒音として認識されることが生じるようになった。

A中央幹線水路とB線道路が並行する地区においも、このような落下水音が問題となっている。水路に蓋をするタイプの防音工が設置される等、対策も講じられているが、これまでのところ問題は解消されていない。そこで本研究では、この地区の騒音実態について現地調査を行うとともに、水理模型実験によって落差工における落下水音を低減させるための簡易な装置を開発する。

II 対象地区の騒音実態の現地調査

1 対象地区の概要

A中央幹線水路とB線道路が並行する地域 (Fig.1) では、道路沿いには民家が立ち並んでおり、水路 (深さ: 1.479~2.223m, 幅: 2.6m) には上流よりX号落差工 (落差: 0.75m), Y号落差工 (落差: 0.442m), Z号落差工 (落差: 0.51m) の3つの落差工があり、これらの落差工における落下水音が騒音として問題となっている。なお、X号落差工には蓋をするタイプの防音工が設置されているが、これまでのところこの地点における騒音問題は解消されていない。

騒音から住民の生活環境を保持するため、A特性 (Appendix参照) を基にして、騒音規制値が定められている。この規制値は、都市計画上の区分や各都道府県等によって異なり、Fig.1の地区が存在するC県ではTable 1の規制値がTable 2の区分毎に定められている。この地区はTable 2における第1種区域に指定されており、規制値はTable 1によると夜間は40dB, 昼間は50dBである。なお、G特性 (Appendix参照) については現状では規制等はないが、山崎・時田 (1982) による周波数と音圧レベルが睡眠に及ぼす影響についての実験結果をG特性に換算すると、100dBを超えると睡眠に対して影響が現れることになる。

*施設資源部水源施設水理研究室

**㈱建設技術研究所

平成 20 年 1 月 7 日受理

キーワード: 落差工, 都市化, 混住化, 騒音, 間伐材, 消音装置

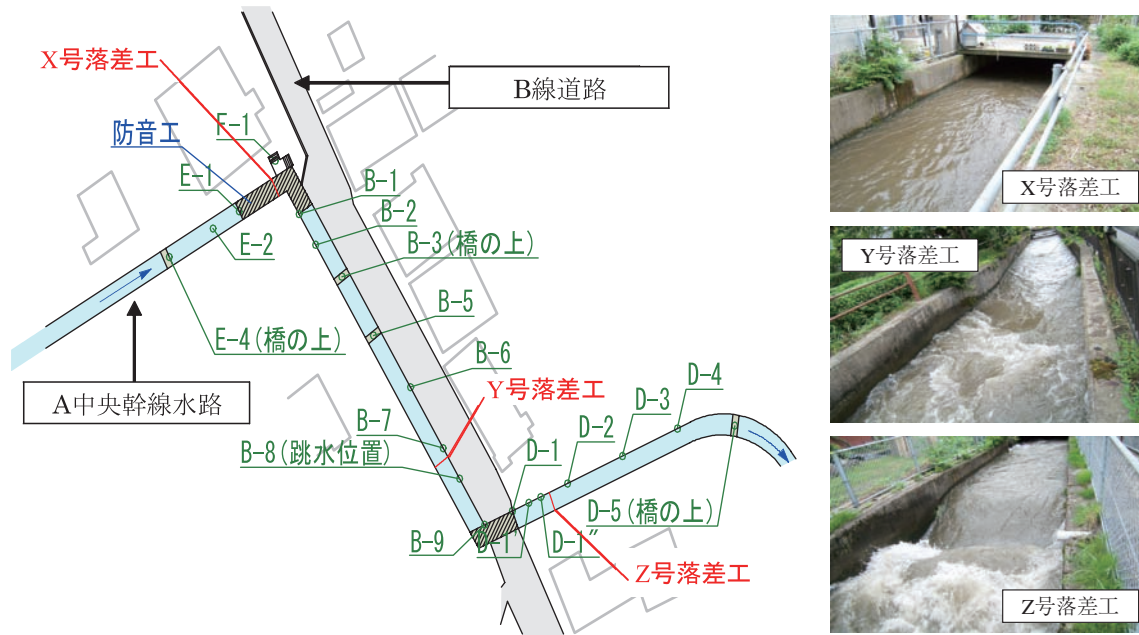


Fig.1 調査地点図
Investigation points chart

Table 1 C県の騒音規制値
Noise restriction value in C Prefecture

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

Table 2 C県における区分
Division in C Prefecture

区域	区域の定義及び都市計画法上の用途地域の区分
第1種	良好な住居環境を保全するため、特に静穏の保持を必要とする地域
	低層住居専用地域
第2種	住居の用に供されているため、静穏の保持を必要とする地域
	中高層住居専用、準住居地域
第3種	住居の用にあわせて商業、工業等の用に供されている区域
	商業地域、準工業地域
第4種	主として工業等の用に供されている区域
	工業地域

2 計測条件

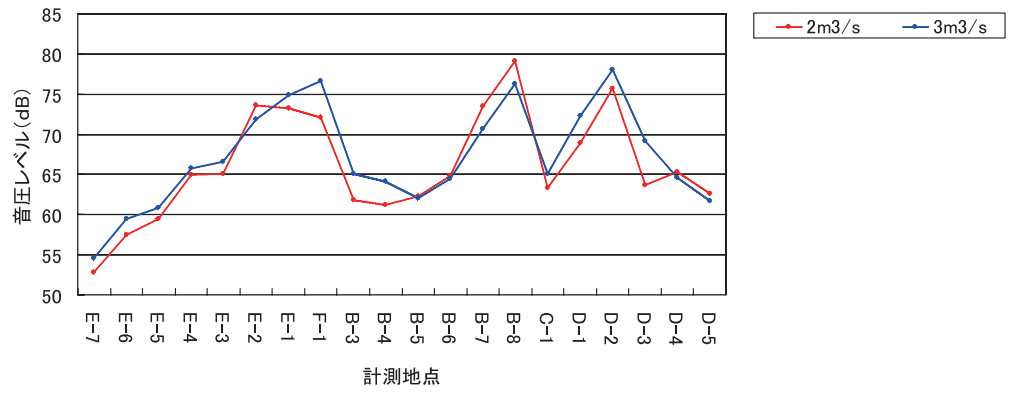
X号、Y号、Z号の3つの落差工地点を中心として騒音実態について現地調査を行った。計測は、融雪時期と取水時期において最も流下頻度の高い $2\text{m}^3/\text{s}$ および $3\text{m}^3/\text{s}$ 時、さらに最大流下量である $3.5\text{m}^3/\text{s}$ を対象として行った。計測器には、周波数100Hz未満に対して低周波音レベル計（リオン社製：NA-18A）、100Hz以上に対して精密騒音計（リオン社製：NA-27）を用いた。計測地点は、Fig.1に示す水路沿いの計20点とし、各箇所1秒間あたり25,000個のデータを60秒間分収集した。

3 水路沿いの流水音分布状況

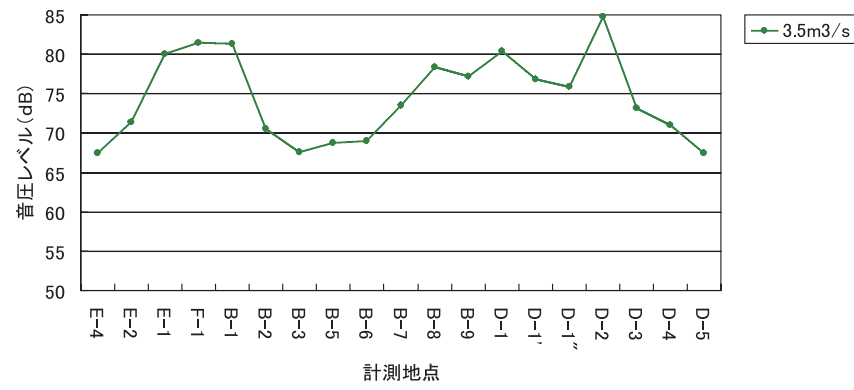
水路に沿ったA特性値、G特性値の計測結果の分布をFig.2、Fig.3に示す。これらより、G特性値については、対象とした流量では、全ての地点で85dB以下であり、低周波音（Appendix参照）については対策が必要となるレベルに至っていないと考えられる。一方A特性値については、いずれの計測地点でも対象地区における

昼間の騒音規制値である50dBを上回っており、可聴音（Appendix参照）については対策が必要である。特に、落差工の設置されている地点であるE-2～F-1（X号落差工の防音工上下流端位置）、B-8（Y号落差工位置）、D-2（Z号落差工位置）では約75dB前後に達している。またこれらの結果より、X号落差工に設置されている防音工の騒音防止効果は高くないことが明らかである。

流量とA特性値の関係をみると、X号落差工付近では、 $3\text{m}^3/\text{s}$ 時および $3.5\text{m}^3/\text{s}$ 時には $2\text{m}^3/\text{s}$ 時よりも約3～5dB高くなるのに対し、Y号落差工では、逆に約3dB低くなっている。Z号落差工では、 $3\text{m}^3/\text{s}$ 時には $2\text{m}^3/\text{s}$ 時よりも約3～5dB高くなるのに対し、 $3.5\text{m}^3/\text{s}$ 時には $3\text{m}^3/\text{s}$ 時よりも約5dB増加している。このように単純に流量の増加が騒音の増大に繋がるわけではないことが明らかとなった。

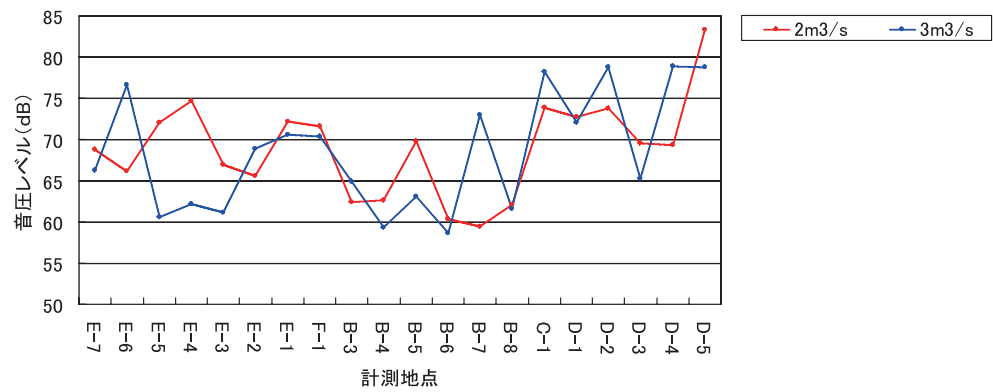


(a) 2.0 m³/s 時および 3.0 m³/s 時

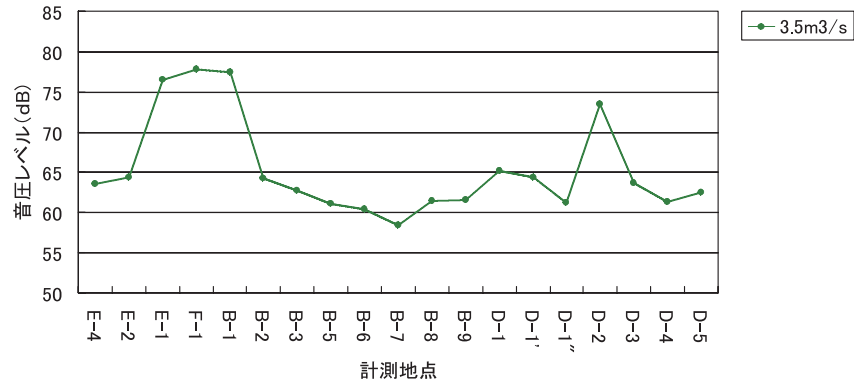


(b) 3.5 m³/s 時

Fig.2 水路沿いで計測したA特性値
A characteristic value measured along the channel



(a) 2.0 m³/s 時および 3.0 m³/s 時



(b) 3.5 m³/s 時

Fig.3 水路沿いで計測したG特性値
G characteristic value measured along the channel

4 落差工地点における周波数特性と流況との関係

一般的に落差工地点における流量と流水音の関係については、①落下流となる場合には跳水等による減勢箇所では音が発生する、②表面流となる場合には流水エネルギーの減勢、すなわち、流水エネルギーの音エネルギーへの変換が生じないため音は発生しない、と考えられる。そこで、F-1 (X号落差工下流端位置)、B-8 (Y号落差工)、D-2 (Z号落差工) の3地点を対象として、周波数特性と流況比較を行った。Fig.4~Fig.6に各地点の周波数特性を、Y号、Z号落差工地点における各流量時の流況をFig.7, Fig.8に示す。なお、X号落差工については防音工として蓋がされているため、流況を確認できなかった。

まずFig.4~Fig.6より、X号落差工下流端位置では、流量の増加に伴い、可聴音域 (Appendix参照) については音圧レベルが増加する一方で、超低周波音域 (Appendix参照) については音圧レベルの大きな変化はみられない。Y号落差工位置では、流量の増加に伴い、可聴音域については音圧レベルの大きな変化はみられず、超低周波域については音圧レベルは大きく変化するが一定の傾向はみられない。Z号落差工位置では、流量の増加に伴い、可聴音域については音圧レベルが増加傾向にあるが、超低周波域については音圧レベルは大きく変化するが一定の傾向はみられない。

次にFig.7, Fig.8より、Y号落差工では、 $2\text{m}^3/\text{s}$ 時には落差工地点で表面流となり、落差工の下流では跳水 (波

状跳水) が発生し、大きな水面変動が生じていた。これに対して $3\text{m}^3/\text{s}$ および $3.5\text{m}^3/\text{s}$ 時には、落差工直下で跳水がほとんど発生しておらず、 $2\text{m}^3/\text{s}$ 時に比べて水面変動は小さくなった。Z号落差工では、 $2\text{m}^3/\text{s}$ 時には落差工位置で完全越流となり、その下流で跳水が発生していたのに対し、 $3\text{m}^3/\text{s}$ 時には波状跳水を伴う表面流となり、落差工の下流では大きな水面変動が生じていた。 $3.5\text{m}^3/\text{s}$ 時には波状跳水による水面変動が更に大きくなった。

本対象地区における落差工の流況と流水音の関係について整理すると、低周波域では、流量の増加に伴う音圧レベルの変化に一定の傾向はみられない。一方、可聴音域では、流量の増加に伴い、落差工の直下で跳水が発生する条件範囲においては音圧レベルは増加し、落差工の直下で跳水が発生しない表面流状態となる条件範囲においては音圧レベルの大きな変化はみられない。

また、各落差工の位置関係に着目すると、Y号落差工では下流にZ号落差工があるために堰上げ背水の影響を受けやすく、流量の増加に伴って流況は跳水を伴わない表面流となりやすく、流水音も大きく変化しない。一方、Z号落差工では下流から受ける堰上げ背水の影響はY号落差工と比べて非常に小さいため、流量が増加しても跳水を伴わない表面流にはならず、流水音は増加傾向となる。Y号落差工で跳水が発生しなかったために減勢されなかったエネルギーはZ号落差工地点で生じた跳水によって減勢され、流水音に変換されていると考えられる。

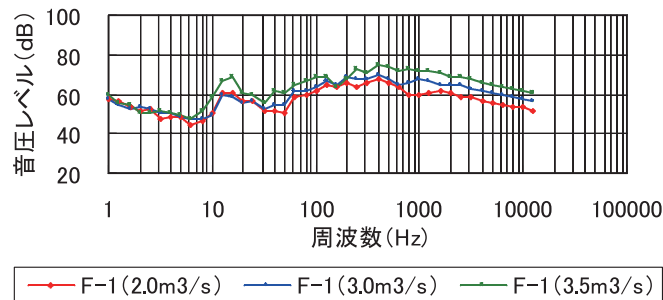


Fig.4 X号落差工の防音工下流における周波数特性

Frequency response in Xth ground sill's soundproofing works downstream

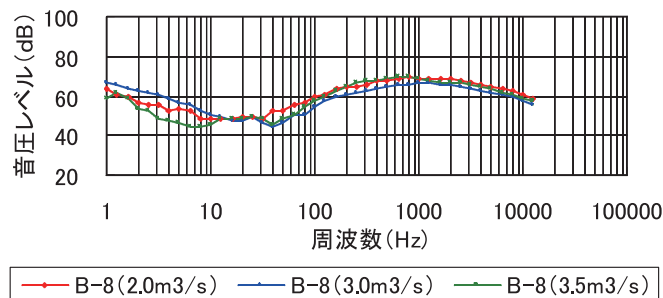


Fig.5 Y号落差工における周波数特性

Frequency response in Yth ground sill

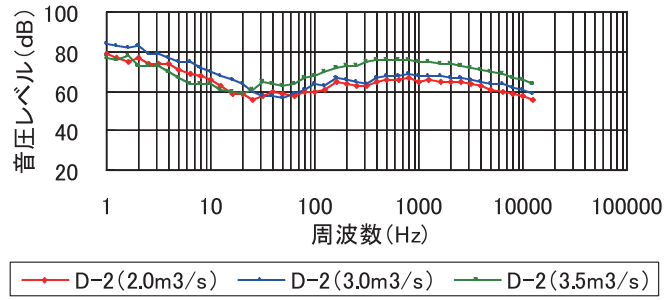


Fig.6 Z号落差工における周波数特性
Frequency response in Zth ground sill



Fig.7 Y号落差工位置の流況 Flow at Yth ground sill



Fig.8 Z号落差工位置の流況 Flow at Zth ground sill

Ⅲ 水理模型実験の方法

1 消音装置の提案

一般に騒音対策には、音源そのものを対象とする場合と伝達空間を対象とする場合の2種類がある。前者では、騒音の発生メカニズムを解明し、音圧レベルを低下させる工夫が施される。後者には、道路における騒音対策のように音源の周辺に吸音材や防音壁が設置される。本研究で対象とする地区における落下水による騒音に関しては、現地で調査した流況と騒音の関係から、流況を変化させることで騒音を低減できる可能性があると考えられる。すなわち、主な音源と考えられる跳水に着目し、跳

水の発生を抑制する対策を講じることとした。

跳水の発生を抑制させるための方法にはいくつか考えられるが、本研究では、①落差工部の水面をシート状のもので覆って大気から隔離し、管水路状態で流下させるもの（管水路方式）、②落差工の越流堰部の下流端にシート状のものを接続し、この上を斜面流状態で流下させるもの（斜路方式）の2つを検討対象とした。シート状のものとしては、作製の容易性、水面変動に対する安定した追随性、水路横断方向に関する剛性、耐久性等を考慮し、間伐材を筏状に繋いだ工作物を考えた。このようなシートを利用した場合の管水路方式および斜路方式の消音装置の概念図をFig.9に示す。

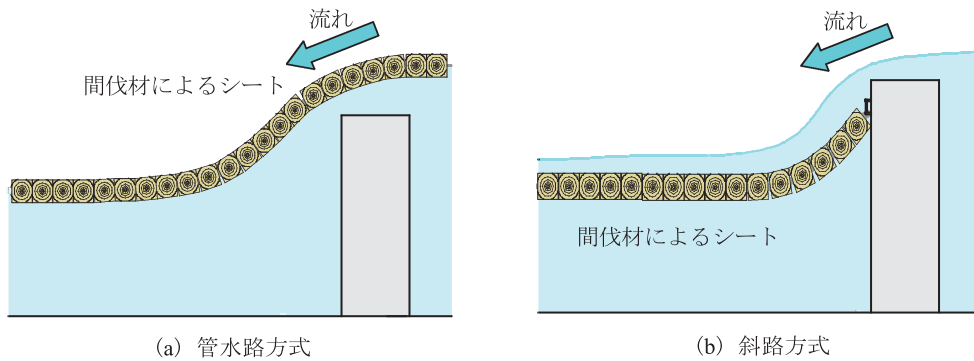


Fig.9 消音装置の概要
Outline of hush device

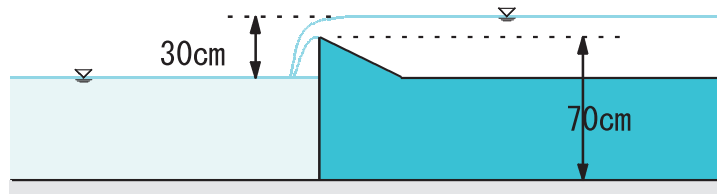


Fig.10 落差工の水理模型の概要
Outline of hydraulic model of ground sill

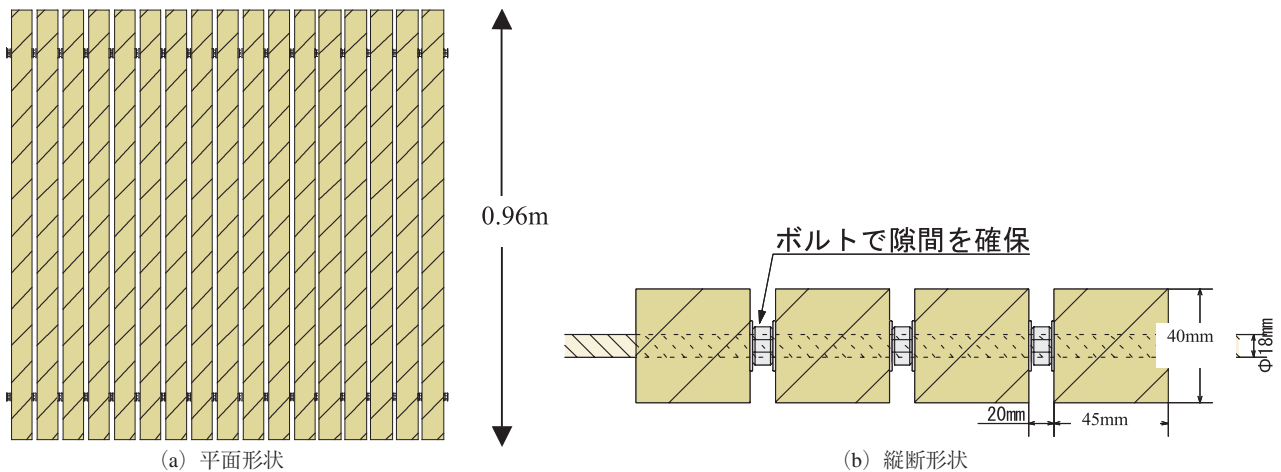


Fig.11 消音装置の詳細
Details of hush device

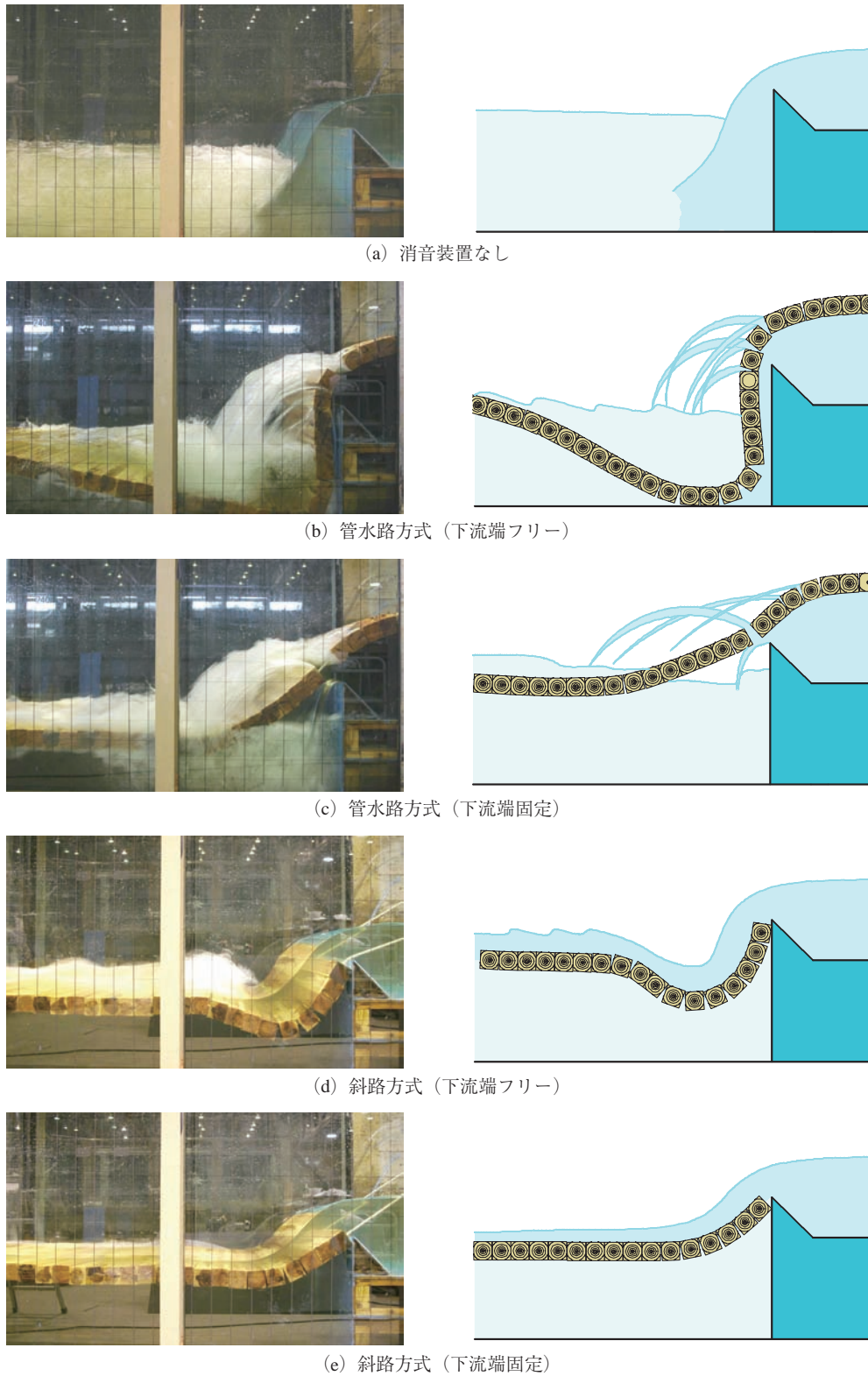


Fig.12 管水路方式と斜路方式の消音装置を設置した場合の流況の写真と概念図
 Photograph and concept chart of flow in setting hush device of tube type and chute type

2 水理模型と実験条件

1で提案した消音装置の効果を検証するため、幅1.0、高さ2.0m、長さ40mの2次元直線水路に、現地に対してフルードの相似則で縮尺1/2の落差工の水理模型 (Fig.10) を設置し、現地流量0.5~2.5m³/sに相当する68~340l/sを

通水した。なお、現地では3.5m³/sが最大流量であるが、実験に用いた水路における最大通水可能量が400l/sであることから、このような範囲を対象とした。そして、落差工の上下流の水位差が現地の平均的な状況に相当する0.3mとなるように、落差工の下流の水位を調整した。消

音装置については、横4.5cm、縦4.0cm、幅96cmの垂木をFig.11に示すように筏状に繋ぎ、Fig.9のように落差工(Fig.10)に設置した。

まず予備実験として、流量200l/sを対象に、落差工に消音装置を設置した場合の設置方式による流況の違いを目視した。その結果をFig.12に示す。これより、落差工部の水面を覆って大気から隔絶する管水路方式では安定した流況が得られず、その実現が困難であることが明らかとなった。なお、Fig.11の筏状の装置とは異なり水が通過できないブルーシートを用いた同方式の実現も試みたが、Fig.12 (b)と同様、落差工の直下ではブルーシートが水中に引きずり込まれ、同様にその実現は困難であった。一方、斜路方式では、この筏状の装置の上を斜面流状態で安定して流下させることが可能であった。

以上の予備実験の結果から、以下では斜路方式Fig.9 (b)のみに着目し、適切な長さおよび下流端の扱いと騒音低減効果の検証を行うこととした。ここで、予備実験にお

いて長さ6m以下では安定した流況が得られなかったこと、および、Y号およびZ号落差工の下流側の直線部の長さは10m程度であること (Fig.1) から、消音装置の長さとしては8mと10mを検討の対象とした。なお、X号落差工では直下流で水路が屈曲しており、そこで形成される流れは非常に複雑となると考えられることから、本研究での消音装置の検討から除外した。このように落差工の直下流で水路が屈曲している場合については、今後の課題とする。

IV 流況の実験結果

1 消音装置なしの流況

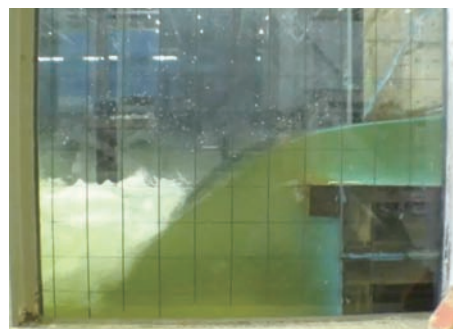
消音装置を設置しない場合、Fig.13に示すように現地流量0.5m³/s程度では、落差工の下流面から完全に剥離した落下流が形成され、跳水だけでなく越流水脈の振動によっても騒音が発生した。1.5m³/s、2.5m³/s時は、現地調査結果 (II)と同様、跳水が騒音の主な原因となった。



(a) 模型流量68l/s (現地流量0.5m³/s)



(b) 模型流量204l/s (現地流量1.5m³/s)



(c) 模型流量340l/s (現地流量2.5m³/s)

Fig.13 消音装置なしの流況

Flow with no device

2 消音装置ありの流況

a 消音装置の長さを8.0mとし、かつ下流端をフリーとした場合

消音装置の長さを8.0mとし、かつ消音装置下流端をフリーとした状態で流況調査を行った結果、**Fig.14**に示すように、現地流量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ ～ $1.5\text{m}^3/\text{s}$ 時には消音装置の上流

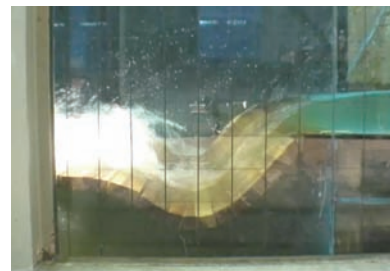
部分で斜面流が形成されず、落下流となり、跳水発生箇所が音源となることがわかった。 $1.5\text{m}^3/\text{s}$ を超える場合には、消音装置の上流部分で斜面流に近い流況が形成されたが、消音装置の下流部分が振動し、このことが新たな音源となることがわかった。



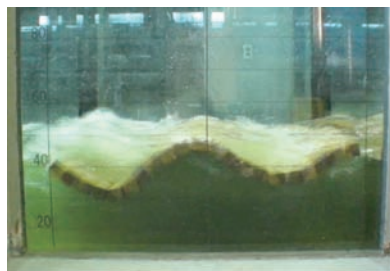
(a) 模型流量68l/s (現地流量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$)



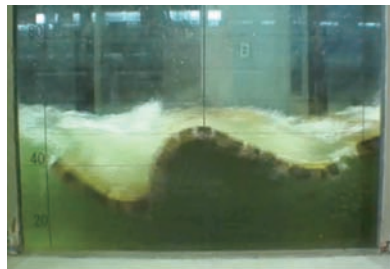
(b) 模型流量136l/s (現地流量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$)



(c) 模型流量204l/s (現地流量 $1.5\text{m}^3/\text{s}$)



(d) 模型流量272l/s (現地流量 $2.0\text{m}^3/\text{s}$)



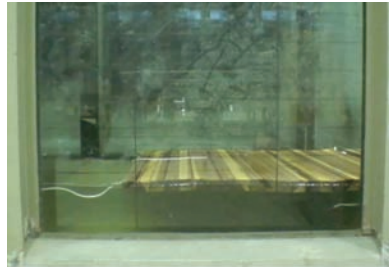
(e) 模型流量340l/s (現地流量 $2.5\text{m}^3/\text{s}$)

Fig.14 消音装置の長さを8.0mとし、かつ下流端をフリーとした場合の流況
Flow in setting hush device (length : 8.0m, downstream edge : not fixed)

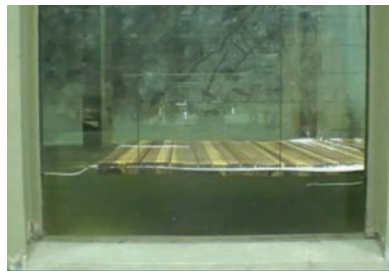
b 消音装置の長さを10.0mとし、かつ下流端をフリーとした場合

消音装置の長さを10.0mとし、かつ消音装置下流端をフリーとした状態で流況調査を行った結果、8.0m時と同様、**Fig.15**に示すように、現地流量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ ～ $1.0\text{m}^3/\text{s}$ 時には消音装置の上流部分で落下流となり、 $2.0\text{m}^3/\text{s}$ 以上にな

ると斜面流に近い流況が形成されるが、消音装置の下流部分が振動することが確認された。 $1.5\text{m}^3/\text{s}$ 程度であれば、消音装置の上流部分で斜面流が形成され、かつ、消音装置の下流部分も振動せず、消音装置としての機能を期待できると考えられる。



(a) 模型流量68l/s (現地流量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$)



(b) 模型流量136l/s (現地流量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$)



(c) 模型流量204l/s (現地流量 $1.5\text{m}^3/\text{s}$)



(d) 模型流量272l/s (現地流量 $2.0\text{m}^3/\text{s}$)



(e) 模型流量340l/s (現地流量 $2.5\text{m}^3/\text{s}$)



Fig.15 消音装置の長さを10.0mとし、かつ下流端をフリーとした場合の流況
Flow in setting hush device (length : 10.0m, downstream edge : not fixed)

c 消音装置の長さを8.0mとし、かつ重りをつけて下流端を固定した場合

消音装置の長さを8.0mとし、かつ消音装置下流端に重りとして土嚢をつけて、振動を抑制させた場合 (Fig.16), Fig.17に示すように、現地流量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ 時は、消音装置の上流部分で落下流となったが、 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ 時には斜面流が形成された。しかし、 $1.5\text{m}^3/\text{s}$ 以上になると消音装置の下流部分が振動し、このことが新たな音源となることが確認された。

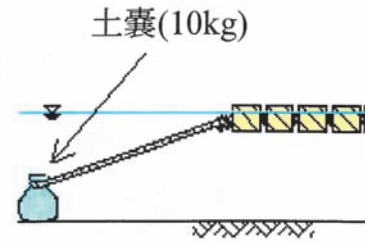
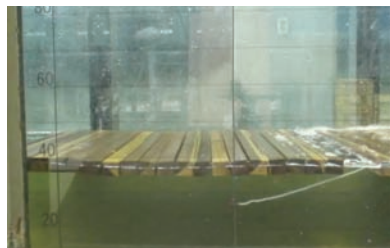


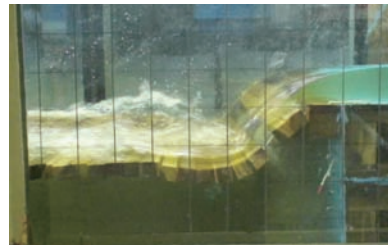
Fig.16 下流端における重りの設置方法
Method for hanging the weight at downstream edge



(a) 模型流量68l/s (現地流量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$)



(b) 模型流量136l/s (現地流量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$)



(c) 模型流量204l/s (現地流量 $1.5\text{m}^3/\text{s}$)



(d) 模型流量272l/s (現地流量 $2.0\text{m}^3/\text{s}$)



(e) 模型流量340l/s (現地流量 $2.5\text{m}^3/\text{s}$)

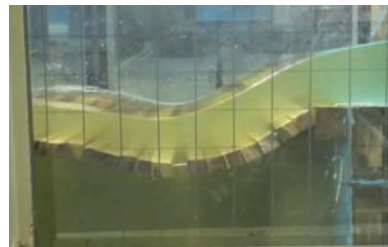


Fig.17 消音装置の長さを8.0mとし、かつ重りをつけて下流端を固定した場合の流況
Flow in setting hush device (length : 8.0m, downstream edge : fixed by hanging the weight)

d 消音装置の長さを10.0mとし、かつ重りをつけて下流端を固定した場合

消音装置の長さを10.0mとし、かつ消音装置下流端に重りとして土嚢をつけて、振動を抑制させた場合、

Fig.18に示すように、 $0.5\text{m}^3/\text{s} \sim 2.5\text{m}^3/\text{s}$ 時まで消音装置の上流部分で安定した斜面流が形成された。しかし、 $2.0\text{m}^3/\text{s}$ 以上になると消音装置の下流部分が振動することが確認された。



(a) 模型流量68l/s (現地流量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$)



(b) 模型流量136l/s (現地流量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$)



(c) 模型流量204l/s (現地流量 $1.5\text{m}^3/\text{s}$)



(d) 模型流量272l/s (現地流量 $2.0\text{m}^3/\text{s}$)



(e) 模型流量340l/s (現地流量 $2.5\text{m}^3/\text{s}$)



Fig.18 消音装置の長さを10.0mとし、かつ重りをつけて下流端を固定した場合の流況
Flow in setting hush device (length : 10.0m, downstream edge : fixed by hanging the weight)

e 消音装置の長さを10.0mとし、かつテンションをかけて下流端を固定した場合

消音装置の長さを10.0mとし、かつテンションをかけて消音装置の下流端を固定して振動を抑制させた場合 (Fig.19), Fig.20に示すように、現地流量 $0.5\text{m}^3/\text{s} \sim 2.5\text{m}^3/\text{s}$ 時まで安定した斜面流が形成され、かつ消音装置の下流部分の振動を抑制できることが確認された。

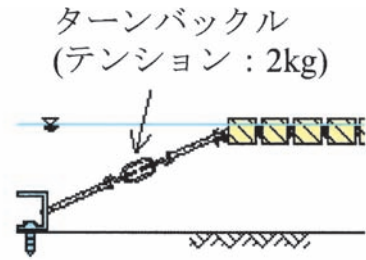
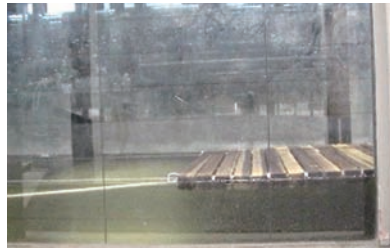


Fig.19 下流端におけるテンションのかけ方
Method for fixing downstream edge by tension



(a) 模型流量68l/s (現地流量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$)



(b) 模型流量136l/s (現地流量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$)



(c) 模型流量204l/s (現地流量 $1.5\text{m}^3/\text{s}$)



(d) 模型流量272l/s (現地流量 $2.0\text{m}^3/\text{s}$)



(e) 模型流量340l/s (現地流量 $2.5\text{m}^3/\text{s}$)



Fig.20 消音装置の長さを10.0mとし、かつテンションをかけて下流端を固定した場合の流況
Flow in setting hush device (length : 10.0m, downstream edge : fixed by tension)

3 結果のまとめ

2で観測した流況の結果 (Table 3) より, 実験条件の範囲では, 消音装置の長さを10.0mとし, かつテンションをかけて下流端を固定した場合に最も安定した流況が形成されたことから, このタイプが最適と考えられる。

このタイプでは, 落差工を越える流れを消音装置に沿ってナップ形状で流下させ, 騒音を軽減することができる。また, 消音装置上を通過する過程で流水が間伐材の隙間に潜りこむことにより, 消音装置上および消音装置よりも下流側における跳水の発生を防ぐとともに, 跳水による騒音の発生を防いでいる。さらに, 下流端にテンションをかけることにより, 消音装置の上下の流速差によって生じる揚力に対する消音装置の振動を防ぐことができる。長さを10mとした理由については, ①求められている機能, ②現地の水理量, ③水路形状の3点に着目し, Table 4に整理した。

V 騒音特性の実験結果

1 流量毎の騒音特性

流況の実験結果 (IV) から, 実験条件の範囲では, 消音装置の長さを10.0mとし, かつテンションをかけて下流端を固定したタイプが最適と考えられた。そこで, このタイプを対象として, 消音装置の有無による騒音特性の違いを計測した。対象流量はIVで対象とした5ケースのうち, 0.5m³/s, 1.5m³/s, 2.5m³/s (いずれも現地換算) の3ケースとした。騒音計測は, Fig.21に示す4地点で行った。

なお, III 2で述べたように, 本研究では現地に対してフルードの相似則で縮尺1/2の落差工の水理模型を用いている。一方, 音については, その相似性が解明されていない。そのため, 本章で計測する騒音特性については, 現地における傾向を掴むためには利用できるが, 現地の状況の予測値としては使用できない。

Table 3 消音装置の流況観測結果

Observation result of flow in setting hush device

装置長さ		8m		10m		8m		10m		10m	
装置の下流端の状態		フリー				重りをつけて固定				テンションをかけて固定	
装置の端の流況		上流端	下流端	上流端	下流端	上流端	下流端	上流端	下流端	上流端	下流端
流量 (m ³ /s)	0.5	×	○	×	○	×	○	○	○	○	○
	1.0	×	△	×	○	△	○	○	○	○	○
	1.5	×	×	△	△	○	×	○	○	○	○
	2.0	○	×	○	×	○	×	○	×	○	○
	2.5	○	×	○	×	○	×	○	×	○	○

上流端: ○ (斜面流), △ (落下流に近い), × (落下流)
下流端: ○ (安定), △ (やや振動), × (振動)

Table 4 消音装置の長さの設定理由

Reason to set length of hush device

項目	内容	判定材料	検討結果
求められている機能	騒音軽減 水面変動の軽減	間伐材が表面に浮き, 間伐材の上面・下面の流速差による振動がない。	間伐材が水表面に浮上し, 振動などが少なく安定した状態となる消音装置長さは最低でも10m以上必要となるが, 水路の直線部の長さが取れないことから, 最短の10mとした
現地水理量	流下流量範囲	流量0.5m ³ /s ~ 2.5m ³ /sで間伐材が水面より常に表面に浮上する。	
水路形状	水路線形	消音装置を設置する水路の直線区間が短い。	

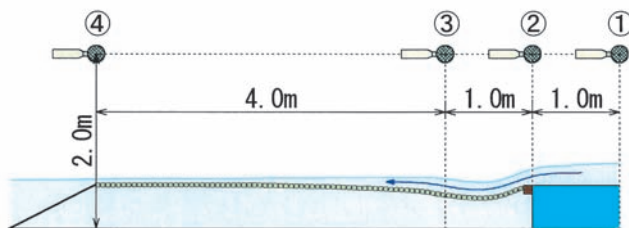


Fig.21 計測位置図

Measurement points chart

a 0.5m³/s時

消音装置の有無による騒音の違いを比較すると、Table 5に示すように、落差工地点ではFLAT（Appendix参照）は10dB程度低下することがわかる。落差工下流1m地点の周波数特性を比較したものがFig.22である。これより、本装置設置前に周波数40Hz近傍で卓越していた低周波音が本装置設置に伴って抑制されていることがわかる。また、周波数100Hz以上ではほぼ一様に音圧レベルが低下している。

Table 5 0.5m³/s時の計測結果一覧
Measurement result list (0.5m³/s)

68l/s (現地0.5m ³ /s)		G		A		FLAT(低)		FLAT(普)	
		対策工		対策工		対策工		対策工	
計測位置 (m)	No.	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
上流	-1	①	72.9 68.5	72.7 70.0	80.4 72.6	81.8 74.1			
落差工地点	0	②	74.7 67.8	77.2 72.0	82.2 71.1	84.1 74.9			
下流	1	③	74.4 67.4	77.6 73.1	81.8 70.6	84.0 75.2			
	5	④	68.8 66.0	72.2 70.0	75.8 67.4	78.2 72.3			

※FLAT（低）とは低周波音レベル計によるFLAT、
FLAT（普）とは精密騒音計によるFLATを示す

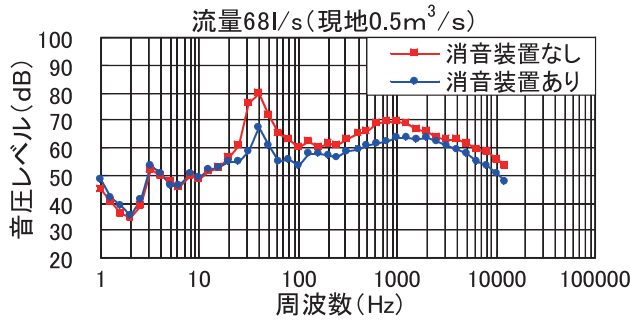


Fig.22 0.5m³/s時の消音装置の有無による周波数特性
Frequency response by presence of hush device (0.5m³/s)

b 1.5m³/s時

消音装置の有無による騒音の違いを比較すると、Table 6に示すように、落差工地点ではFLATは7~8dB程度低下することがわかる。落差工下流1m地点の周波数特性の比較を行ったものがFig.23である。これより、消音装置設置前と比較して周波数約40Hz以上ではほぼ一様に音圧レベルが低下している。

Table 6 1.5m³/s時の計測結果一覧
Measurement result list (1.5m³/s)

204l/s (現地1.5m ³ /s)		G		A		FLAT(低)		FLAT(普)	
		対策工		対策工		対策工		対策工	
計測位置 (m)	No.	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
上流	-1	①	67.6 66.1	76.9 70.5	72.4 67.1	79.7 73.0			
落差工地点	0	②	66.5 66.4	80.2 70.6	72.2 67.8	81.6 73.1			
下流	1	③	66.9 66.1	80.8 71.7	72.3 65.8	82.4 73.4			
	5	④	66.1 66.2	75.1 71.1	70.5 66.1	77.8 72.8			

※FLAT（低）とは低周波音レベル計によるFLAT、
FLAT（普）とは精密騒音計によるFLATを示す

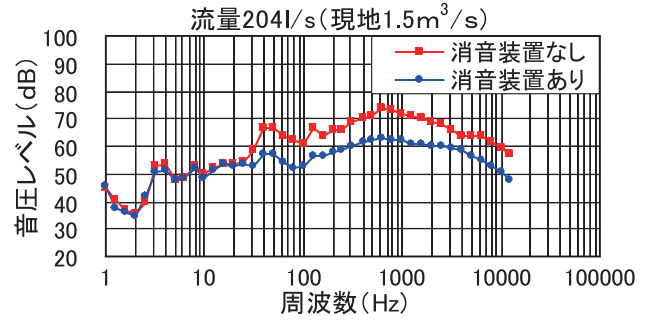


Fig.23 1.5m³/s時の消音装置の有無による周波数特性
Frequency response by presence of hush device (1.5m³/s)

c 2.5m³/s時

消音装置の有無による騒音の違いを比較すると、Table 7に示すように、落差工地点ではFLATは4~5dB程度低下することがわかる。落差工下流1m地点の周波数特性の比較を行ったものがFig.24である。これより、消音装置設置前と比較して周波数約30Hz以上ではほぼ一様に音圧レベルが低下している。

Table 7 2.5m³/s時の計測結果一覧
Measurement result list (2.5m³/s)

340l/s (現地2.5m ³ /s)		G		A		FLAT(低)		FLAT(普)	
		対策工		対策工		対策工		対策工	
計測位置 (m)	No.	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
上流	-1	①	66.2 66.5	75.6 69.6	69.7 67.5	77.8 72.7			
落差工地点	0	②	65.4 66.3	78.1 70.1	70.1 66.1	79.4 73.1			
下流	1	③	66.1 64.0	78.2 70.5	71.0 66.4	79.9 73.2			
	5	④	66.5 64.6	72.7 74.3	68.6 68.9	75.3 75.5			

※FLAT（低）とは低周波音レベル計によるFLAT、
FLAT（普）とは精密騒音計によるFLATを示す

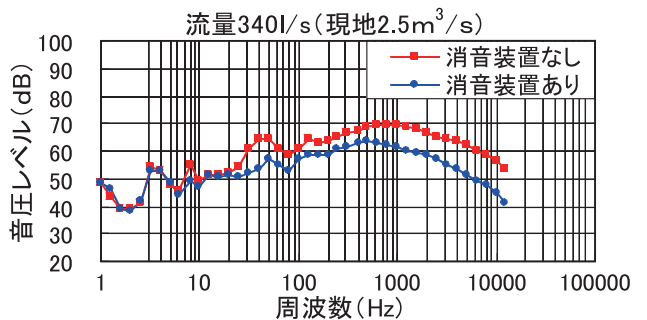


Fig.24 2.5m³/s時の消音装置の有無による周波数特性
Frequency response by presence of hush device (2.5m³/s)

2 結果のまとめ

以上の騒音特性の実験結果から、流況の実験において最適と考えられた、消音装置の長さを10.0mとし、かつテンションをかけて下流端を固定したタイプは、騒音の低減に対して有効であるといえる。落差工の下流面から完全に剥離した落下流が形成され、跳水だけでなく越流水脈の振動によっても騒音が発生する場合には、主に周波数40Hz近傍で卓越する低周波音を抑制させる。落差工の下流面で剥離が生じない落下流が形成され、主

に跳水によって騒音が発生する場合には、周波数約30～40Hz以上ではほぼ一様に音圧レベルを低下させる。

VI 消音装置の設計

1 諸元

流況の調査結果 (IV) および騒音特性の調査結果 (V) から、実験条件の範囲では最適と考えられた、消音装置の長さを10.0mとし、かつテンションをかけて下流端を

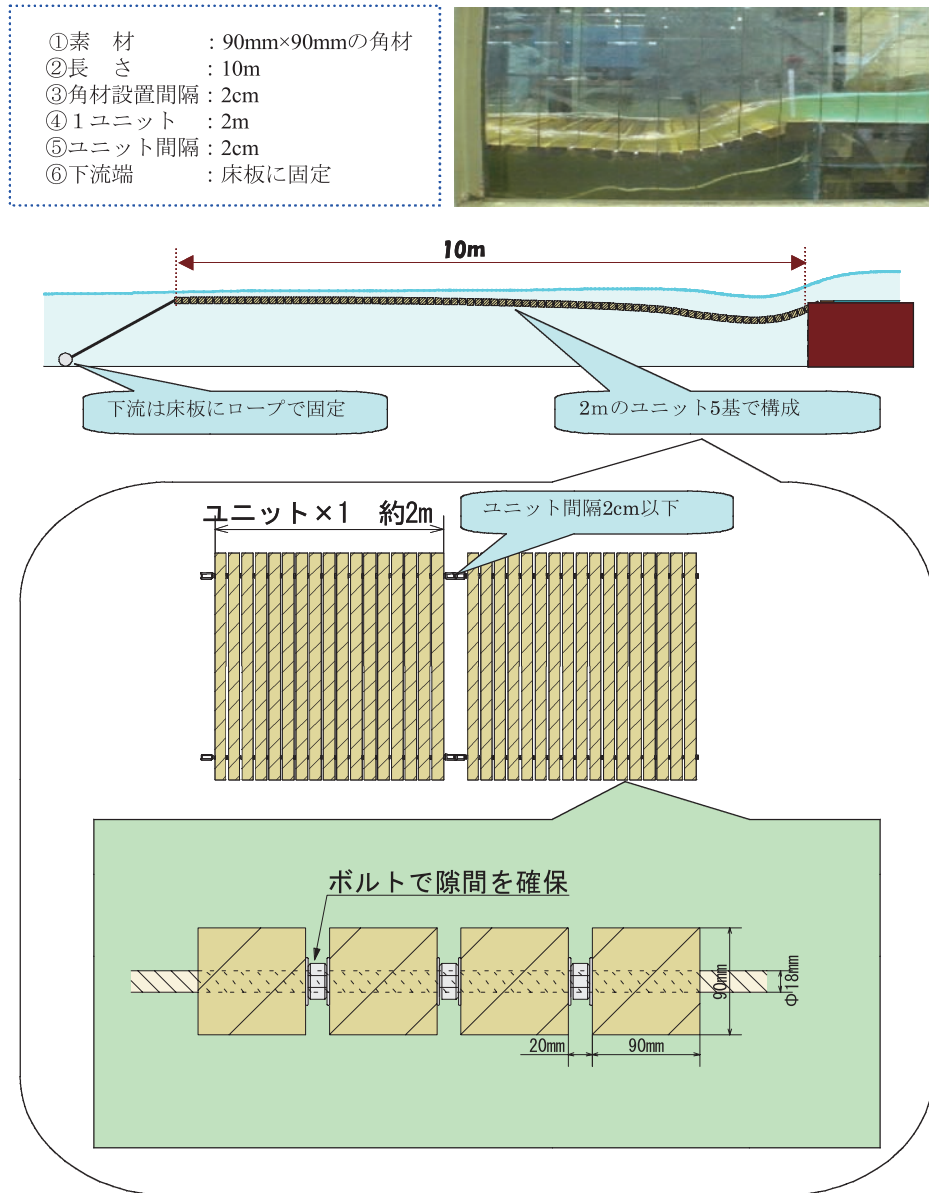


Fig.25 消音装置の諸元 Specifications of hush device

Table8 消音装置の材料とその特性 Material and its characteristic of hush device

項目		材質	耐久性の考慮事項	備考
間伐材	筏	木材 (樹種未定)	腐朽	筏状のフロート
結束材	ワイヤーロープ	鋼製	錆び	間伐材を連結
		繊維	磨耗・劣化	
間隙材	ナット	鋼製	錆び	間伐材間の間隙確保

固定したタイプを対象として、現地に設置する際に必要な諸元をFig.25に整理した。この消音装置を構成する材料とその特性については、Table 8に整理した。

2 木材の耐久性と維持管理

Table 8の材料の中で、特に耐久性が問われる材料は間伐材である。木材については、設置環境条件とその影響、使用場所別の耐久年と防腐処理の考え方、樹種別の耐久性がそれぞれ岐阜県（2003）によってTable 9, Table 10, Table 11のように整理されている。本研究における消音装置については、Table 9では水中・水際に相当し、農業用水路での利用を考慮すると無処理が望ま

しいことから、耐久年数はTable 10より1～5年になると考えられる。本装置の材料は消耗品であることから、耐用年数に達していなくても日常的に点検等を実施することが望まれる。なお、材料を交換する際には、本装置全体を一度取り外す必要がある。設置方法については後述するが（Ⅶ）、この取り外しは、水路や落差工等の既存の施設の改修よりも非常に容易に行うことができる。

また、木製の土木施設の維持管理の考え方についても、同じく岐阜県（2003）によってFig.26, Table 12のようにまとめられている。これらの考え方も、本装置を実用する上で参考になると考えられる。

Table 9 設置環境条件と木材への影響・利用方法（岐阜県，2003）

Influence on wood by Installation condition and use of wood in installation conditions (Gifu Prefecture, 2003)

設置条件	設置条件における木材への影響	主な利用方法
a) 地中	完全に地中に設置された場合、酸欠状態となり木材は腐朽しにくい。	・基礎杭 ・疎水材
b) 水中	完全に水中に設置された場合、比較的低温であり、酸欠状態となることから木材は腐朽しにくい。	・沈床工
c) 地際	乾燥湿潤を繰り返す箇所であり、栄養分の補給も容易であるため腐朽による劣化の進行が早い。	・法面保護工 ・防護柵工 ・標識、看板類
d) 水際	乾燥湿潤を繰り返す箇所であり、腐朽による劣化やひび割れ等が進行しやすい。	・護岸工 ・水路工
e) 地上	日照、降雨、雪、風等の気象条件の影響を受けやすい箇所では変色・ひび割れ等が進行しやすく、これらは腐朽による劣化を進行させる要因ともなる。	・防護柵工 ・支柱

Table 10 使用場所別の耐久年と防腐処理の考え方（岐阜県，2003）

Endurance year according and idea of antiseptic processing to use place (Gifu Prefecture, 2003)

設置場所	処理方法	およその耐用年数	防腐処理の考え方（留意・検討事項）
地中水中	無処理		・地中、水中にある場合は腐朽しにくいいため防腐処理は行わない。ただし、完全に地中・水中にあるよう設置する
地際地上	無処理	1～5年程度	・植生の復元等による施設機能の補完が可能な場合、原則的に無処理を基本とする。 ・チップ化、小径材（概ねφ6cm以下）として用いる場合は処理効果が期待しにくいいため防腐処理は行わない。 ・地上部にある場合、利用者の強度的安定性を確保すべき構造物については、防腐処理を検討する。この場合は加圧注入処理によることが望ましいが、施工性・経済性について比較検討する必要がある。
	表面処理	3～7年程度	
	加圧注入処理	10年以上	
水際	無処理	1～5年程度	・溶脱等による防腐効力の低下が懸念されるため、水際に設置する場合、表面処理は適さない。 ・耐用年数、部材の交換性等を考慮し無処理による場合との施工性・経済性について検討する必要がある。
	加圧注入処理	10年以上	

Table 11 日本産及び南洋産材の野外に設置した杭の腐朽経過と耐用年数（岐阜県，2003）

Decay passage and the life of piling from Japan and the South Seas set up in the outdoors (岐阜県, 2003)

区 分	樹 種
最大 (9年以上)	カヤ, コウヤマキ
大 (7.0～8.5年)	ヒノキ, サワラ, アスナロ, ヒバ, クリ, ケヤキ
中 (5.0～6.5年)	スギ, カラマツ, アカマツ, クロマツ, ミズナラ, アラカシ, シラカシ,
小 (3.0～4.5年)	モミ, アカガシ, ブナ, コナラ
最小 (2.5年以下)	トドマツ, シラカンバ, エゾマツ, クスノキ

※ 供試体の大きさ3×3×60cm

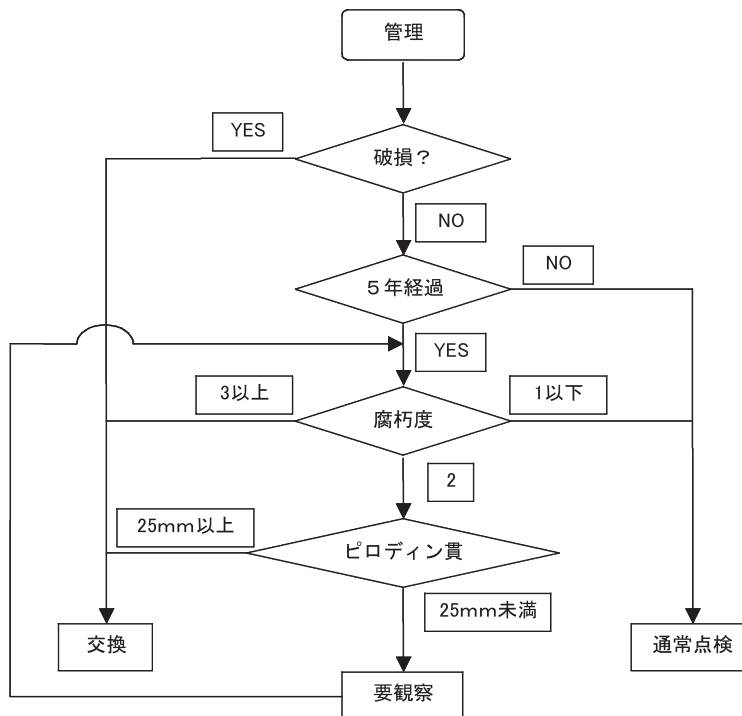


Fig.26 木製土木施設の維持管理の考え方 (案) (岐阜県, 2003)
Idea of maintenance of wooden civil engineering facilities

Table 12 被害度と評価基準 (岐阜県, 2003)
Damage degree and criterion

被害度	観 察 状 態	圧縮強度減少率
0	健全	-
1	部分的に軽度の虫害または腐朽	10~20%
2	全面的に軽度の虫害または腐朽	20~40%
3	2の状態のうえに部分的にはげしい虫害または腐朽	30~50%
4	全面的にはげしい虫害または腐朽	50%以上
5	虫害または腐朽により形がくずれる	-

3 ワイヤーとロープの長所および短所

Table 8の材料の中で、結束材については鋼製ワイヤーと繊維ロープとで選択の余地がある。ここでは、それらの特性の比較を行い、本装置に適用した場合の長所および短所をTable 13に整理した。ワイヤーは剛性が高いため間伐材に与える磨耗損傷の影響が大きいが、ゴムホース等をかぶせることによりこれを軽減することは可能である。なお本装置の結束材は消耗品であることから、耐用年数に達していなくても伸びや金具部のゆるみなど日常的に点検等を実施することが望まれる。

Ⅶ 現地施工法

施工は、事前に筏状のフロートを準備し、現地では低水期に一時的に通水を中断する、もしくは、半分水路を

締め切ることにより、筏の取り付け金具を取り付けるものとする。

1 事前作業

- ① 木材 (90×90mm) を所定の長さ=水路幅×96%に裁断する
- ② 裁断された木材の長手に口径φ18mmの穴を、水路の横断方向に約1mピッチであける。
- ③ ワイヤーはφ9mm長さ15mのものを、穴の数だけ用意する。
- ④ 外径12mmのゴムホースにワイヤー9mm通したものを木材の穴に通す。その際、ゴムホースの外側に内径φ14mmのナットを木材間に1つずつ通すものとする。
- ⑤ 端部処理としてワイヤークリップにて仮止めする。

Table 13 ワイヤーとロープの長所および短所

Merit and weak point of wire and rope

単体で使用時の特性		ワイヤー	ロープ	長所および短所
材質		鋼製	澁	鋼製は取り扱いに難があるが、繊維は取り扱いが容易である。
物理的な特性	引っ張り強度	大	小	鋼製ワイヤーは引っ張り強度が十分あり、かつ伸びなどは無い。一方で繊維ロープは、引っ張り強度は鋼製ワイヤーに比べ劣る。また伸びる。耐衝撃性は伸縮性があるロープのほうが強く、無い鋼製ワイヤーは弱い。筏状に浮くことを前提としているため、比重が大きいワイヤーは沈みことは当対策工では短所となる。
	伸縮性	無し	有り	
	耐衝撃性	弱	強	
	耐摩耗性	大	小	
	耐久性	大	小	
その他の特性	比重	大	小	鋼製ワイヤーは常時水中にある場合には錆びが生じやすい。
	耐水性	錆び	有り	
施工性	耐紫外線	強	弱	紫外線に対しては繊維のロープは鋼製のワイヤーに対して弱い
	取り回し等	難	易	取り扱いは、鋼製のワイヤーに比べ繊維のロープの方が良好である。
価格		高	中	繊維の素材によっては高価である
本装置で使用時の特性		ワイヤー	ロープ	長所および短所
間伐材との相性		悪い	良い	強度の違いによる磨耗や劣化
水面変動への追従性		剛	軟	ワイヤーの剛性が高いと水面変動への追従性がロープに比べ劣る。
搬出・搬入		良	やや悪	伸びが無いワイヤーが良い
現場組み立て		やや悪	良	ワイヤーの取り回しが悪いものの取り付けや緊張等は容易である。

2 現場作業

a 取り付け部

- ① 落差工部にCチャンを上下2箇所に取り付ける (Fig.27 (a))。取り付け方法は構造等を考慮する。
- ② 下側のCチャンにワイヤ止めを取り付け、テンションがかけられるようにターンバックルを取り付ける (Fig.27 (b))。
- ③ ワイヤー末端を上面ワイヤーより通し、ターンバックルにつなぐ間、クレーンにて筏部分は上流側にまともしておき作業できるようにする (Fig.27 (c))。
- ④ 上流側ワイヤー取り付け後、筏部に仮止めておいたワイヤークリップを外し、クレーンにて下流のワイヤーを持ち上げ、筏部をCチャンに密着させ、筏部の垂木は間隔が一定になるように上流側に詰め、筏部の下流端にワイヤークリップを取り付け固定する (Fig.27 (d))。
- ⑤ ②で取り付けしたターンバックルで、筏部の垂木のゆるみを除去する。
- ⑥ クレーンを下流側に振り、下流端の処理を次に行う。

b 下流取り付け部

- ① 下流側のテンションは水路幅程度下流の河床付近にCチャンをセットしターンバックルにて筏がたるまない程度にテンションをかけるものとする (Fig.27 (e))。

IX 結言

本研究では、現地調査および水理模型実験の結果をもとに、農業用水路内の落差工における騒音を低減させるための簡易な消音装置の開発を行った。本装置は、筏状に繋いだ間伐材を落差工に設置してするものである。その長さは10.0mとし、下流端ではテンションをかけて固定する。本装置の設置により、落差工の下流で跳水の発生を防ぐことができ、可聴音域、低周波音域ともに音圧レベルが低下することを確認した。

但し、水理模型実験は現地に対して1/2のスケールで実施しており、現地では音圧レベルをどの程度低下できるのか不明である。そのため、今後の課題として、実物スケールでの実験を行い、現地での効果を確認する必要がある。また、対象とした地区とは水理条件や地形条件が異なる場合についても適用できるように、条件の範囲を広げて実験を継続する必要がある。さらに、落差工の下流で水路が屈曲している箇所に適用する場合の対策についても検討を行う必要がある。引き続きこれらの課題に取り組みたい。

参考文献

- 1) 山崎和秀, 時田保夫 (1982): 低周波音領域音波の睡眠に対する影響, 日本音響学会講演論文集, P.423-424
- 2) 岐阜県 (2003): 岐阜県間伐材利用事例集, 岐阜県, P.18-23

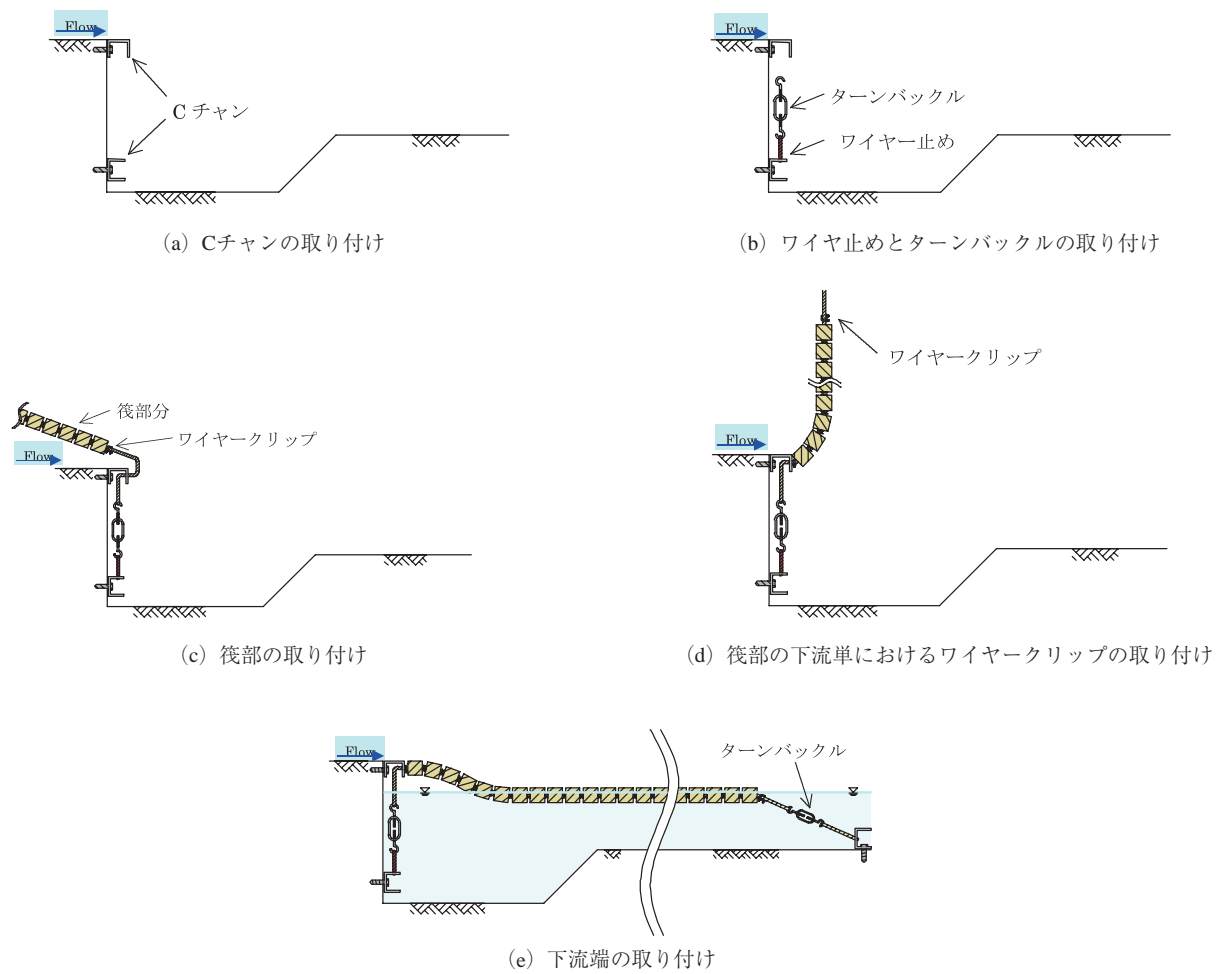


Fig.27 現場作業の概要
Outline of works in situ

Hush Device at Ground Sill

GOTO Masahiro, NAMIHIRA Atsushi, TSUNESUMI Naoto,

SHOUZAWA Katsuyuki and SEKIYA Akira

Summary

Large-scale irrigation and drainage system was established and agricultural water has been supplied stably to the paddy or upland field, by the project of agricultural infrastructure improvement and rural development. As a result, the productivity of agriculture has improved greatly. On the other hand, urbanization or mixing of suburbs and agricultural areas has progressed in the rural area, the stream sound in the waterway, especially the fall water sound at the ground sill, has been recognized as a noise for people who had come to reside newly around the agricultural channel.

Such a fall water noise becomes a problem also in the district where A mail canal goes side by side with B line road. In this research, a simple hush device to decrease the noise at the ground sill in the agricultural channel is developed, by the field investigation and the hydraulic model experiment, for this district. This device is the one that the thinning wood that tied like the raft is set up by the ground sill, the length is assumed to be 10.0m, and the downstream edge is fixed by the tension. It is confirmed that hydraulic jump at ground sill's downstream can be prevented generating and the sound pressure level of the audible sound range and the low frequency sound range decreases by setting up this device.

However, the hydraulic model experiment is executed on the scale of 1/2, and it is uncertain whether it is possible to decrease the sound pressure level in the locale. Therefore, as future tasks, it is necessary to conduct the experiment on the full scale and to confirm the effect in the locale. In addition, it is necessary to expand the range of the experimental condition so that this device may be applicable even if the hydraulic condition and the geographical features condition are different from the conditions of the targeted district.

Keywords : ground sill, urbanization, mixing of suburbs and agricultural areas, noise, thinning wood, hush device

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。