

都市河川の流水音特性について

The sound characteristics of the flowing water in urban river

桑川 高德* 長谷部正彦**

by Takanori KUMEKAWA and Masahiko HASEBE

1. はじめに

河川計画においては、これまでほとんどが視覚的対象として、ランドスケープの観点から計画されてきた。しかしながら、親水的な、人間の感性に近い空間の場として河川を考えると従来から行われてきた防災的な側面ばかりでなく、ゆとりのある空間としての河川環境を考慮する必要があると思われる^{(1)、(2)}。

これまで、著者らはサウンドスケープの観点から河川環境を見直す必要があるとの視点により、河川流水音について調査・検討してきた。河川における音はおもに流水の表面付近の気泡や圧力変動等で発生する。また、滝の音などは跳水現象が原因となるフルード数の変化のため発生する。また、河川におけるせせらぎの音は主に水面近傍での空気が水滴の中に取込まれる過程で発生する振動音である⁽²⁾。この発生メカニズムはせせらぎ音だけでもいろいろな現象がからみ複雑であるが、発生した音の強さは測定可能であり、周波数解析から、ゆらぎと関係していることが多いと考えられる^{(3)、(4)}。この研究では、主に、河床、護岸等が整備されている都市部を流れる河川（田川、釜川）と、また都市河川ではない河川（鬼怒川）との流水音特性を比較を行いな

がら、流水音に関しての発生要因を検討するために実験をも行い、水理諸量と流水音との関係を検討したものである。

2. 周波数特性

周波数特性を表すために、ここではFFT法によるパワースペクトルの式を以下に示す。

$$P(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} |X(f)|^2 \right] \\ = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} X(f) X^*(f) \right] \quad (1)$$

ここに、 $X(f)$ はフーリエ成分の周期 f の振幅、 $X(f)^*$ は共役複素フーリエ成分、 T は周期である。

3. 実河川での流水音の周波数特性

河川で測定した周波数特性の例を都市河川の田川、釜川について、図1、2に示す。図3は鬼怒川の早瀬での測定結果であり、周波数特性は1kHz付近を境界として、それより高周波数域では傾きの周波数のべき乗が約1であるのに対し、それより低周波数域ではホワイトノイズに近い。この時の河川の河床材料は径約40cm程度の岩敷きである。また、図2は釜川での垂直落下流（約1.5m）で、河床材料はコンクリートで護岸もコンクリートであった。この場合の周波数特性は全周波数領域で $n \approx 0.3$

キーワード；河川計画、環境計画

* 正会員 工修 宇都宮工業高校建設科
(320 宇都宮市京町9-25)

**正会員 工博 宇都宮大学工学部建設学科
(321 宇都宮市石井2753)

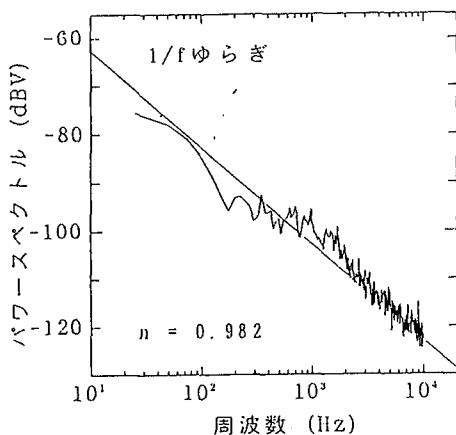


図1 田川のせせらぎ

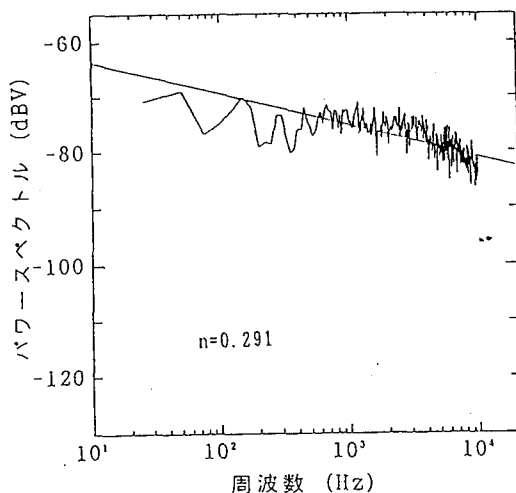


図2 釜川垂直落下流

であった。しかし、図3（鬼怒川）に示すように、せせらぎでは傾きのベキ乗が約1となりゆらぎの性質を示している。この場合には河床材料が手の拳程度の玉砂利であった。このように、実河川では河床材料と流れの形態の違いによりパワースペクトル特性が異なること示された。

4. 実験方法

以上の結果を踏まえて流水音の発生原因と水理量との関係を検討するために、図4のような装置を用い、実験を行った。水路床勾配Iは0.148, 0.214の2種類、その時の流量を3種類と変化させ、計6種類について実験を行った。また、すべてのパターンについて、水路床の状態と水路幅は同じとし、水路床には径1.5cm程度の石を粘土で固定し、水路床全体に敷き詰めた。実験に際しては、装置以外の周りからの音の影響をできるだけ受けないように配慮し、実験は比較的静穏な深夜に行った。流水音の測定は、音圧レベル、パワースペクトル共に、水路の長さ方向及び幅の中心位置で流水表面から5cm上で測定した。集音にはマイクロホンを用い、一方向からの音を集音し、分析にはFFTアナライザ（CF120）を用い、結果をパソコンで処理した。また、FFTアナライザの入力の際にはウィンドウ関数としてハニング関数を用いた。音圧レベルの測定

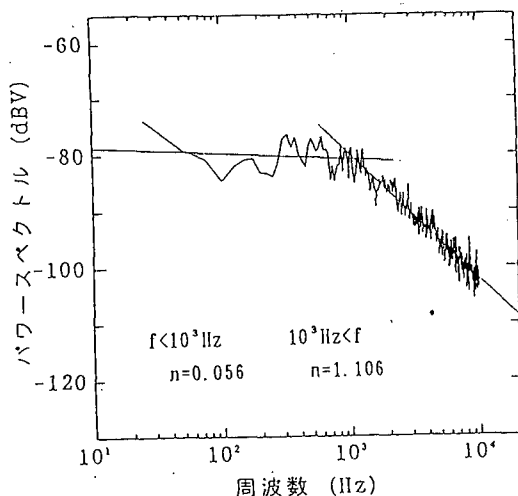


図3 鬼怒川早瀬

は各パターン共に10回計測し、その平均値を求めて表示した。パワースペクトルも同様に求めた。測定周波数領域は20Hzから20kHzまでを50Hz単位で設定し、計測した。

5. 実験結果及び考察

実験水路での水理条件を表1に示す。図5にパワースペクトルと周波数の関係を示す。音圧レベルと水理量との関係であるが、水路勾配を2種類に変え、流量も変化させたが、いずれの場合でも流量が増加

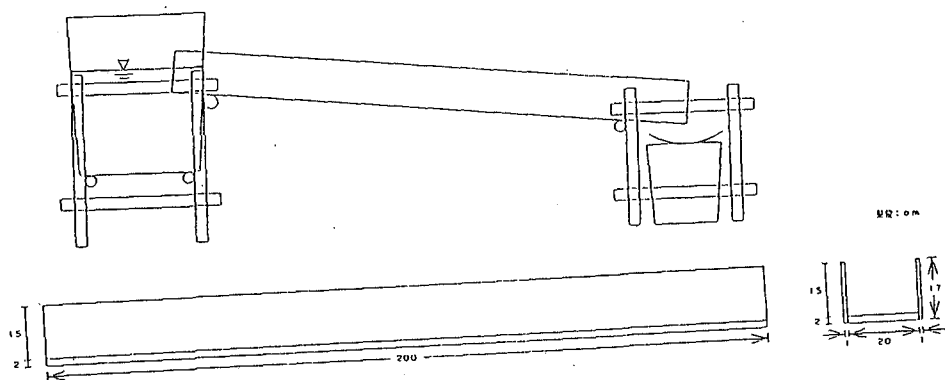


図4 実験装置

表1 実験水路での水理条件

	平均流速 V (cm/s)	摩擦速度 U^* (cm/s)	摩擦損失 係数 f	摩擦損失 h_f (cm)	レイノルズ 数 Re	フルード数 Fr	音圧レベル (dBspl)
ケース 1	50.90	17.98	0.249	56.03	5934	1.310	110.6
ケース 2	78.80	18.44	0.110	56.71	9546	1.978	112.8
ケース 3	90.37	18.78	0.086	57.23	11251	2.227	113.5
ケース 4	52.97	14.66	0.153	38.41	5989	1.391	106.1
ケース 5	77.84	15.43	0.079	39.36	9518	1.942	108.1
ケース 6	86.76	15.49	0.068	40.01	11135	2.095	110.3

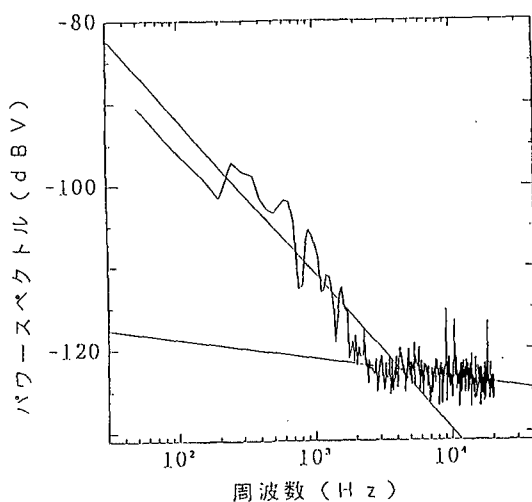


図5 パワースペクトル
($n=0.941, I=0.148$)

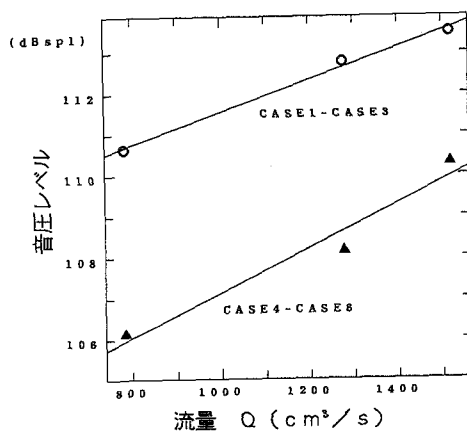


図6 流量と音圧レベルとの関係

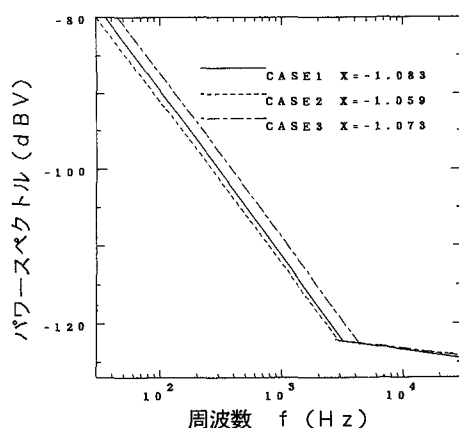


図7 周波数とパワースペクトルとの関係
(CASE 1-CASE 3)

すると図6に示すように音圧レベルが増加する傾向にあった。その増加の仕方はほぼ比例関係になっている。周波数とパワースペクトルとの関係は、周波数が3 kHzから5 kHz付近を境界とし、波形が傾きが異なっている。境界より低い周波数域では1/f型のパワースペクトルで、それより高い周波数域では1/f⁰ (白色雑音に近い) のパワースペクトルとなった。次に、パターン1~3、4~6までのパワースペクトルと周波数の比較を図7、8に示す。図からどのパターンでも同じ様な傾向を示していることがわかる。結果の勾配のべき乗を表2に示す。

表2 実験CASEにおける周波数のべき乗の一覧

CASE	1	2	3	4	5	6
傾きの べき乗	1.08	1.05	1.07	1.10	0.97	0.94

6. 結論

今回の実験と都市河川との音特性の比較から、以下の結論を得た。

(1) 実験水路での実験では、水路床勾配によらず流量が増加すれば音圧レベルも増加し、その関係は比例関係であった。また、パワースペクトルは3 kHzから5 kHz付近を界とし、それより低い低周波数域では1/fのゆらぎ型に、高周波域ではホワイトノイズに近い傾向を示す。

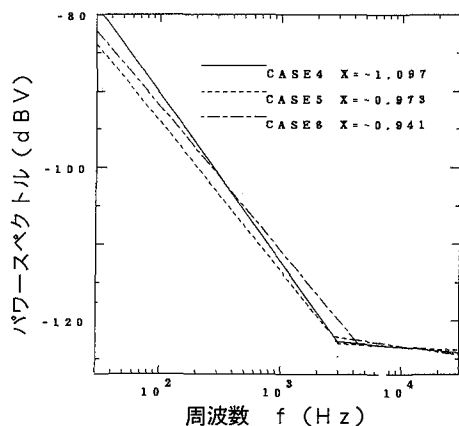


図8 周波数とパワースペクトルとの関係
(CASE 4-CASE 6)

(2) 都市河川での流水音の周波数特性は、河床材料により、流水形態により異なるが、せせらぎの場合には、1 kHz以上の周波数域ではゆらぎ型にそれ以下では白色雑音に分類できるが、垂直落下流(段波流)では、傾きが1/f^{0.3}となった。

(3) 都市河川の流水音と実験でのその結果を比較した場合、ある境界以下と以上とでの傾きが反対であった。都市河川では、音を集音する際に、流水音ばかりでなくそれ以外の音も含まれていることが考えられる。

以上のような結論を得たが、実験の取扱いについて、深夜実験であったが、流水を行わない環境での暗騒音等についての計測を今後行い、音と水理量との関係について検討して行く必要があると考えられる。

参考文献

- (1) R.Murry Schafer(鳥越けいこ他訳) ; 世界の調律、平凡社、1985
- (2) 望月修、丸田芳幸 ; 流体音工学入門、朝倉書店、1996
- (3) 長谷部正彦他 ; サウンドスケープの視点からみた河川流水音のゆらぎ特性について、環境システム研究、Vol.23、pp548-553
- (4) 福村寿敬他 ; 河川流水音の音環境特性について、第50回土木学会年次学術講演会概要集(2-A)、pp206-207、1995
- (5) 武者利光 ; ゆらぎの世界、講談社、1993