

## 第2章 ダム減勢工の発生音特性

本章では、副ダムを有する跳水式減勢工を対象として、実機において放流時の発生音を測定し、水理学的条件と発生音の音圧レベルや音響出力など発生音の大きさとの関係、さらに周波数特性との関係を把握する。また、これらの結果は、第3章で議論する発生音の予測手法の検証データとなるものである。

### 2.1 放流設備の概要

現地観測は、跳水式減勢工を有するAダムの常用洪水吐きにおいて行った。Aダムの放流設備の概要を図-2.1に示す。当ダムの主な放流設備は最大 $100\text{m}^3/\text{s}$ の放流を行う幅3mの放流管形式の常用洪水吐き（以下、単に放流管と言う）と、ダム設計洪水流量 $2,200\text{m}^3/\text{s}$ を放流するための越流頂形式の非常用洪水吐きである。また、これらの放流水を下流に安全に流下させるために跳水式の減勢工が設けられている。減勢工の幅は約30mあり、幅3mの放流管からの水脈と越流頂からの水脈が流入する形状となっている。これらの施設のうち放流管からの放流時に発生音の測定を実施した。

### 2.2 放流条件

測定を行った際の放流条件を表-2.1に示す。ほぼ同様の水位条件のもとで放流管ゲートを徐々に開け、流量を $5\text{m}^3/\text{s}$ ずつ増加させて $75\text{m}^3/\text{s}$ まで測定を行っている。したがって、着水時の流速は各流量条件ともほぼ等しく、流量の増加とともに流入水脈厚さが大きくなり、フルード数は小さくなって行く。

### 2.3 測定方法

測定位置は、音源と考えられる放流水の着水地点より約30m離れた減勢工側壁上である（図-2.1）。測定は、1～1000Hzの間での平坦特性SPLを持つ低周波音レベル計を用いて行った。記録した出力はサンプルレート2000HzでAD変換し、音圧実効値を求めるとともにFFT解析を行い、パワースペクトルを求めた。加えて、低周波数帯における音の性状を詳細に分析することを目的として、1/3オクターブ解析を行った。なお、放流管からの放流時には同時にバルブおよび発電施設からも放流を行っている。放流管からの放流の前にこれらのみの放流による発生音を測定し、この測定音を暗騒音として上記の実測値から差し引いた。

表-2.1 実機の放流条件

流入条件			
水脈厚さ $h$ $m$	流量 $Q$ $m^3/s$	着水時流速 $V$ $m/s$	フルード数 $Fr$
0.163	12.1	24.8	19.7
0.216	16.0	24.7	17.0
0.269	19.9	24.7	15.2
0.321	23.6	24.5	13.8
0.373	27.3	24.5	12.8
0.424	30.9	24.3	12.0
0.480	34.9	24.2	11.2
0.537	38.9	24.1	10.5
0.592	42.6	24.0	10.0
0.646	46.4	23.9	9.5
0.718	51.2	23.8	9.0
0.789	56.0	23.7	8.5
0.859	60.6	23.5	8.1
0.929	65.3	23.4	7.8
1.073	74.9	23.3	7.2

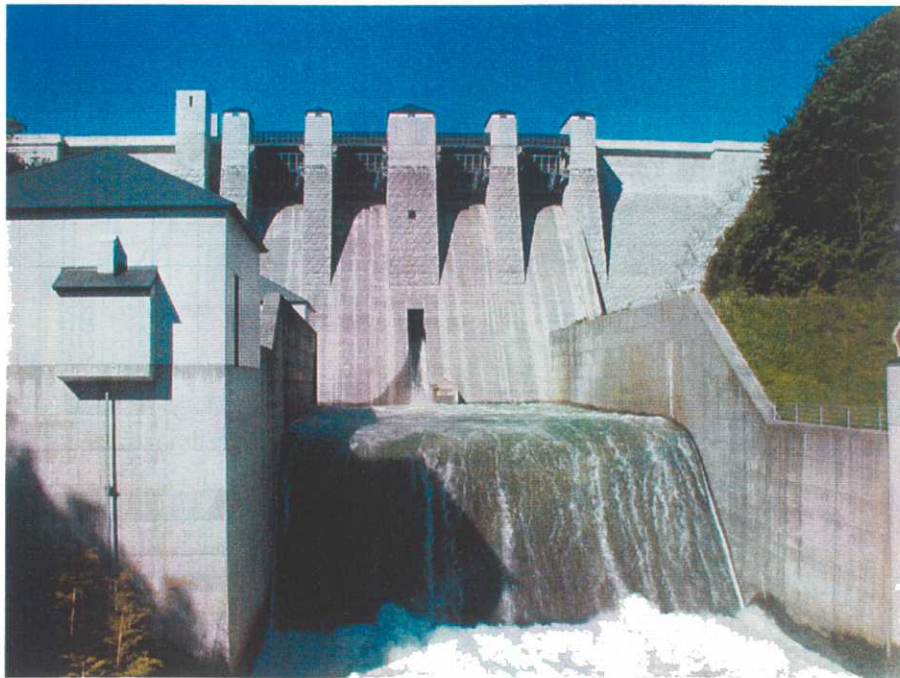


写真-2.1A ダム放流状況

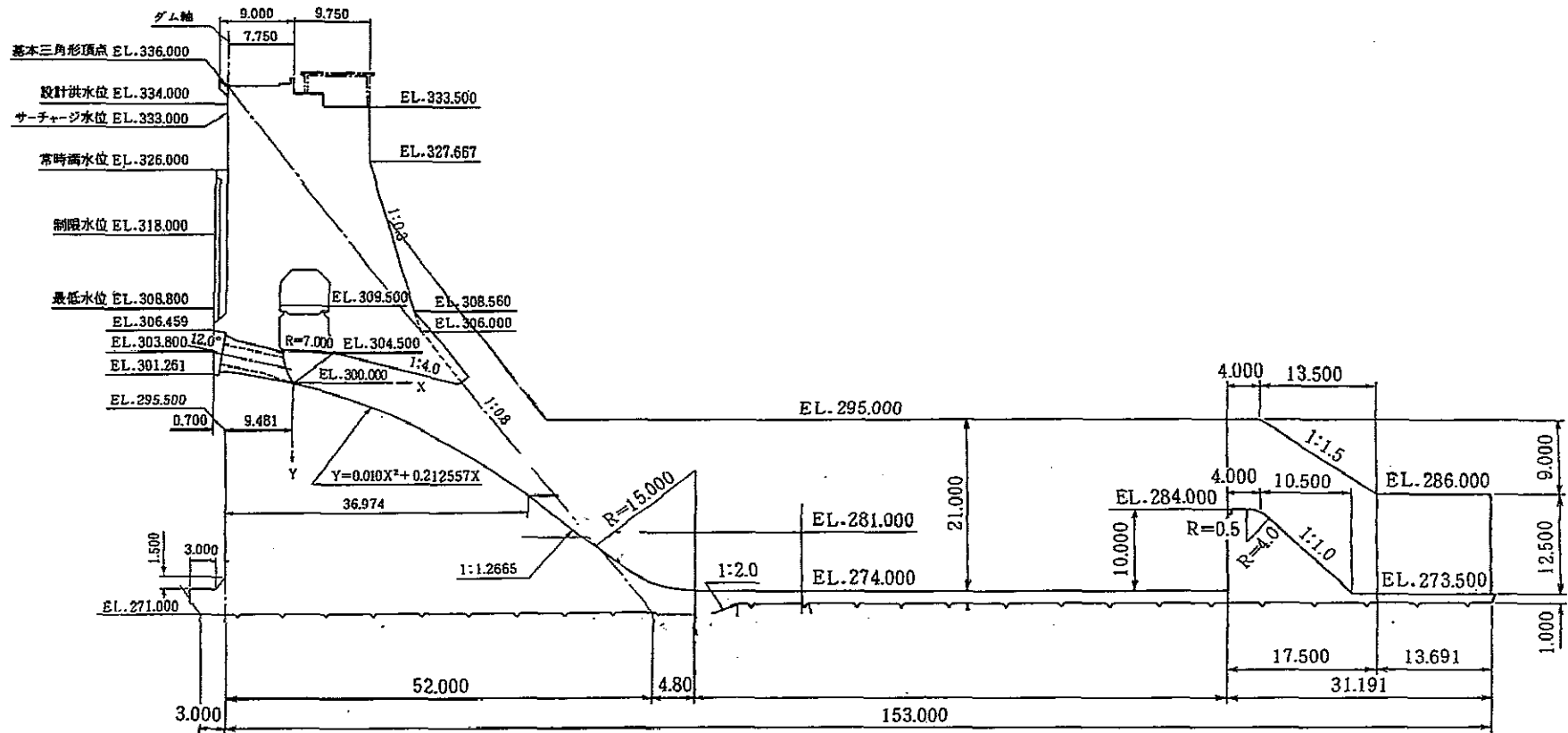


図-2.1a Aダム洪水吐き断面図

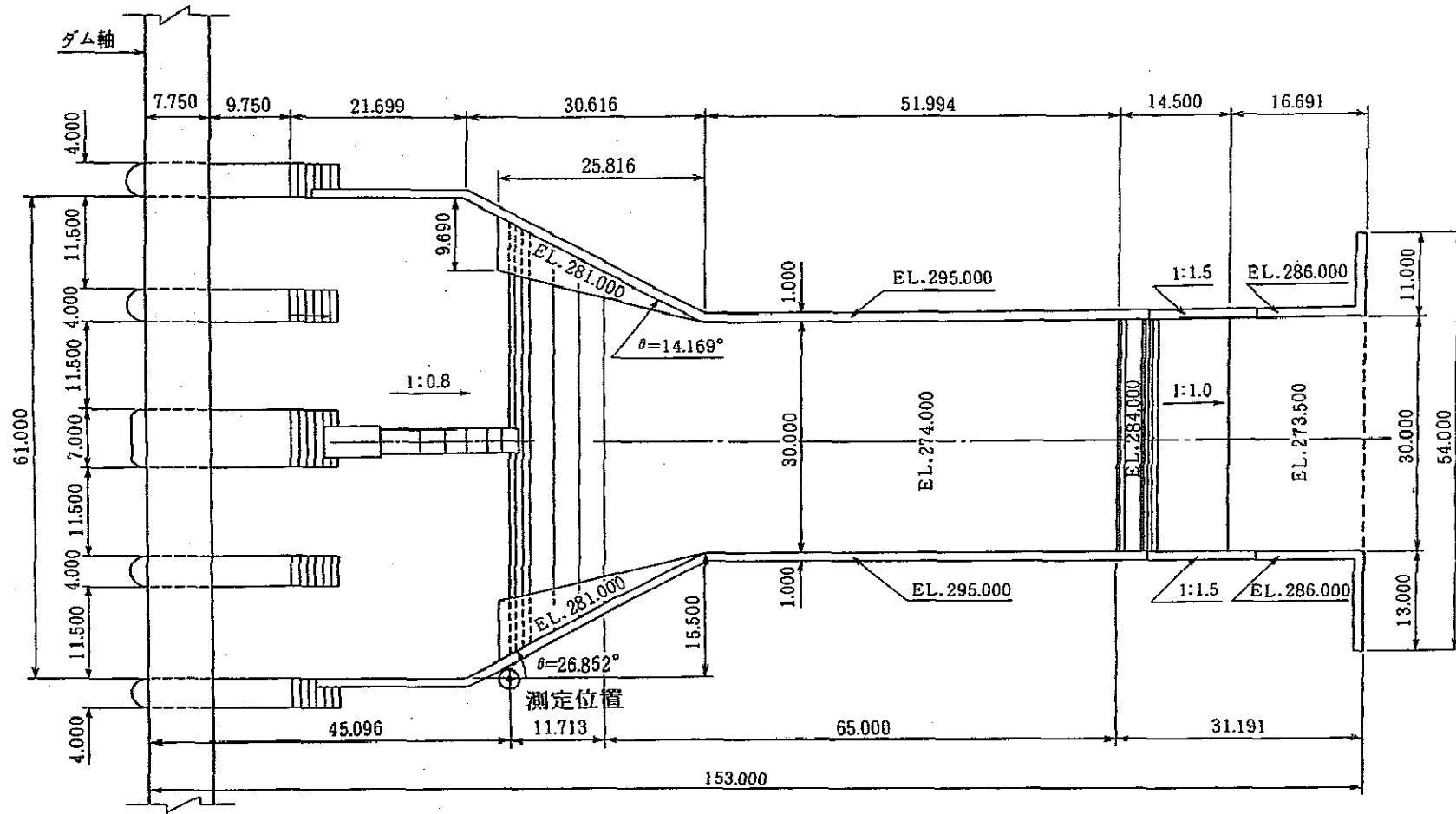


図-2.1b Aダム洪水吐き平面図及び測定位置図

## 2.4 測定結果

### 2.4.1 音響出力

図-2.2 に流量と測定された音圧レベルの関係を示した。音圧レベルは流量の増加とともに大きくなるが、60m<sup>3</sup>/s 以上でほぼ横ばいとなる傾向が見られる。

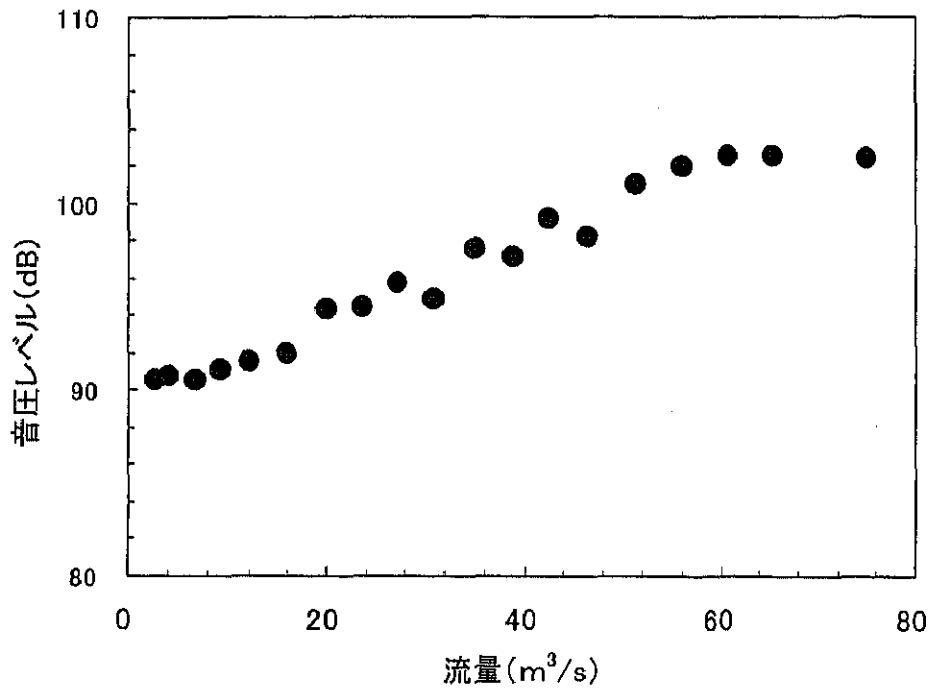


図-2.2 流量と音圧レベルの関係

減勢工では、跳水時あるいは水脈の着水時に生じる大きな乱れによって、その運動エネルギーや位置エネルギーの一部が、渦や音、最終的には熱に変換され、減勢効果が生じると考えられる。したがって、跳水時に発生する音のエネルギーすなわち音響出力は流入水脈の運動エネルギーや流速に大きく依存するものと考えられる<sup>1),2),3)</sup>。そこで、発生音の音響出力と水脈の持つエネルギーを比較する。

まず、発生音のエネルギーすなわち音響出力を求める。A ダムの減勢工幅は放流管幅に比べて十分大きく、一方、堤体内での水脈は構造上横方向が拘束されているため拡散することなく減勢池の始端部に流入している。したがって、着水点を音源と考えれば、測定位置からは音源はほぼ点音源と見なすことができる。点音源における測定音圧と音響出力の関係は次式で表すことができる<sup>4)</sup>。

$$W = 4\pi r^2 I = 2\pi r^2 \frac{P^2}{\rho_a c_a} \quad (2-1)$$

$W$ : 音源出力 [W],  $c_a$ : 空気中の音速 [m/s],  $I$ : 音の強さ [W/m<sup>2</sup>]

$p$ :音圧実効値 [Pa]、 $r$ :音源と測点の距離 [m]、 $\rho_a$ :空気の密度 [kg/m<sup>3</sup>]  
 なお、レベル表示では次式となる<sup>4)</sup>。

$$L_w = L + 20 \log r + 11 \quad (2-2)$$

$L_w$ :音源出力 [dB]、 $L$ :測定音圧レベル [dB]、 $r$ :音源から測点のまでの距離 [m]

次に流入エネルギーを算出する。跳水始端部における単位時間当たりの流入エネルギーフラックスは次式で与えられる。

$$E = \frac{\rho_w Q v^2}{2} \quad (2-3)$$

$E$ :単位時間当たり流入エネルギー [J/s]、 $Q$ :流量 [m<sup>3</sup>/s]、 $v$ :流入流速 [m/s]

式(2-1)および(2-3)を用いて、流入エネルギーと音響出力の関係を求めると図-2.3 のようになる。なお、着水時の流速は、ゲート直下の流速(流量/ゲート開度/ゲート幅)に着水までの標高差による流速の増加分を加えた値で、ゲート下流の底面摩擦や空気混入による損失は考慮されていない。図に示すように流入エネルギーと音響出力はほぼ比例関係となっているが、流入エネルギーがほぼ5,000J/sを超えたあたりでやや勾配が変化している。

ここで、式(2-1)及び(2-3)で与えられる流入エネルギーと音響出力の比 $\alpha$ は、跳水時における流れのエネルギーから音響エネルギーへの変換効率と考えることができる。

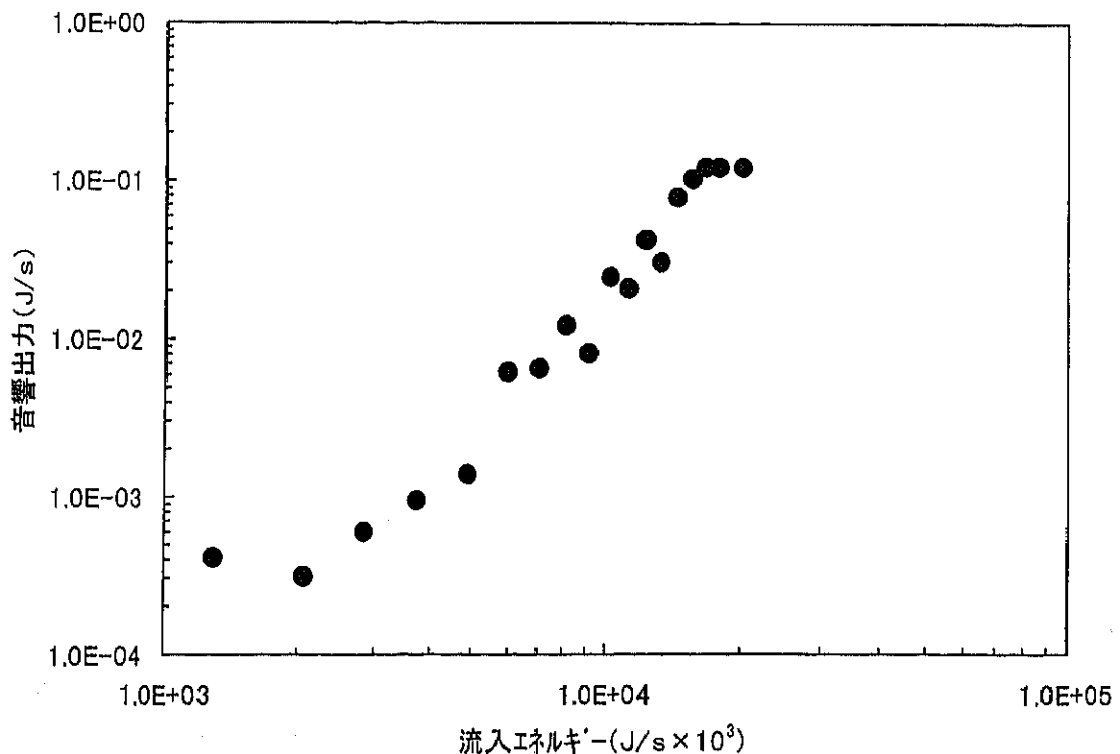


図-2.3 流入エネルギーと音響出力の関係

$$\alpha = \frac{W}{E} \quad (2-4)$$

$W$ :音源出力 [w]、

$E$ :単位時間当たり流入エネルギー [J/s]

式(2-4)を用いて求めた音への変換効率と流量の関係を示したものが図-2.4である。これによれば、変換効率は流量の増加とともに緩やかに増加するが、流量が大きいほど増加傾向は小さい。目視による流況観察では、低流量時には減勢池内の水位はほぼ一定であり、放流管からの水脈による影響は着水点付近に限られている。しかし、流量が増加すると減勢池内の水面は変動を始め、流量の増加とともに変動量は大きくなる。音への変換効率の変化はこうした流況の変化に対応していると考えられる。

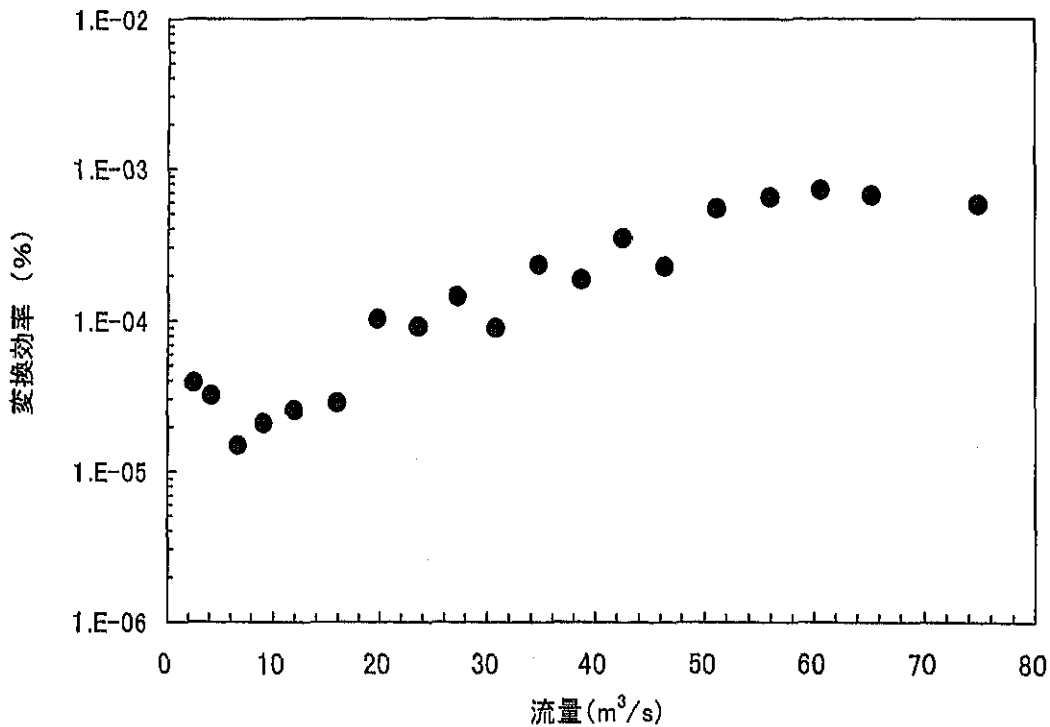


図-2.4 流量と変換効率の関係

#### 2.4.2 周波数特性

現地観測における測定音のパワースペクトルを図-2.5 に示した。なお、下段の図は得られたパワースペクトルの各周波数成分をオーバーオール値（全体の積分値）で除して正規化したものである。得られた周波数分布は 2~3Hz に不明瞭ではあるが卓越周波数を持ち、周波数が大きくなるほど各周波数成分が小さくなるいわゆるピンクノイズに近い特性を持

っていることがわかる。また、各周波数成分の絶対値は流量の増加とともに大きくなるが、正規化されたパワースペクトルはほぼ一致し、放流条件によらない一定の周波数特性を持つことがわかる。

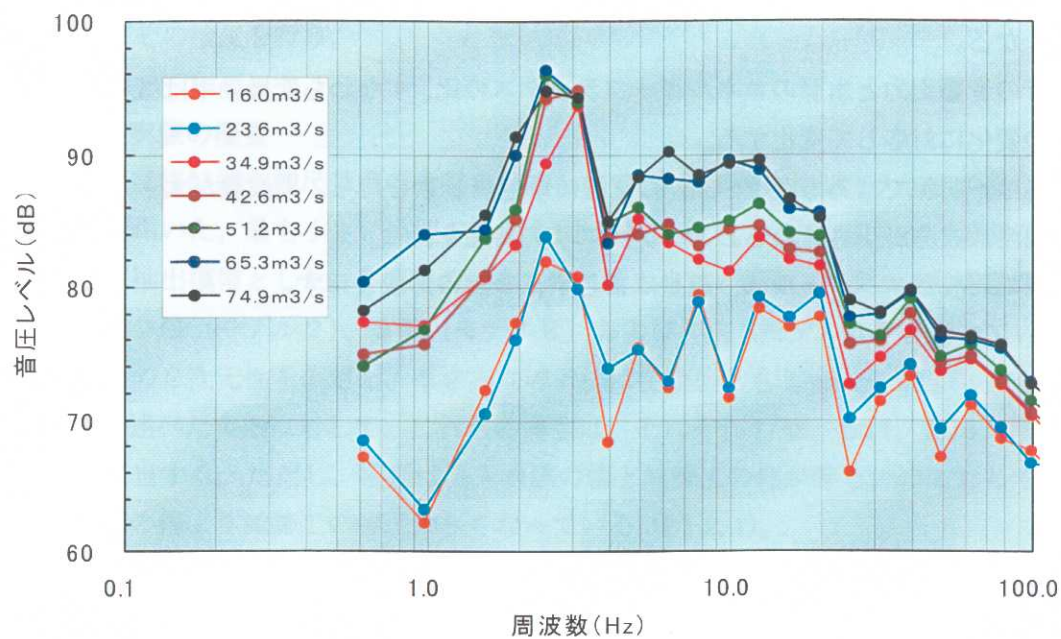


図-2.5a A ダム実測値の 1/3 オクターブ分析結果

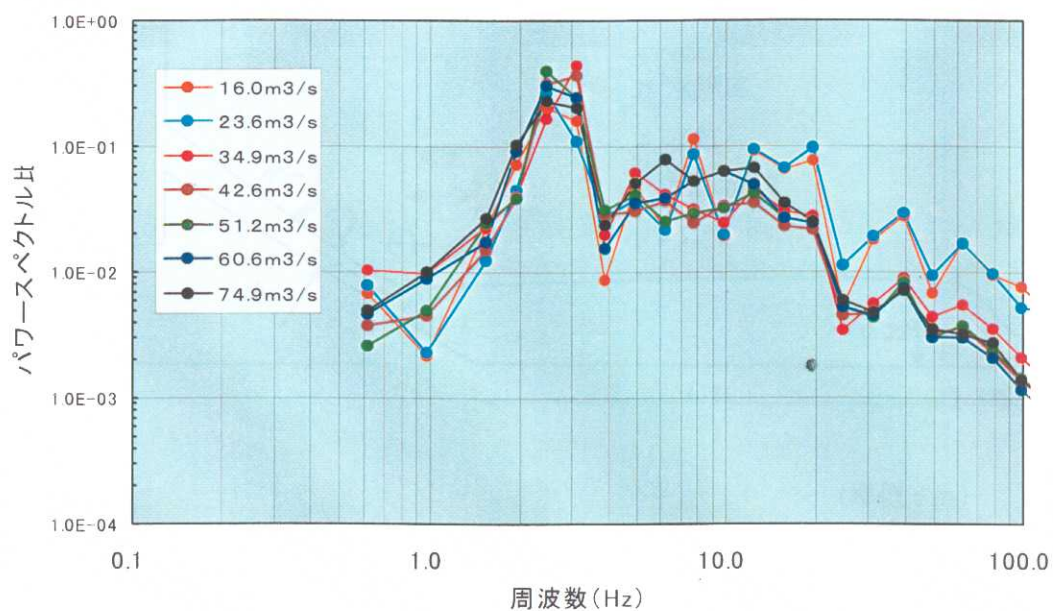


図-2.5b A ダム実測値の 1/3 オクターブ分析結果



## 2.5 まとめ

本章では、副ダムを有する現地跳水式減勢工において放流時の発生音の測定を行い、水理学的条件と発生音の音圧レベルや音響出力など発生音の大きさとの関係、さらに周波数特性との関係を調べた。得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 跳水時に発生する音の音圧レベルは、減勢工に流入する水脈のエネルギーの増加に伴い大きくなる。
- 2) 発生音の音響出力と水脈のエネルギーフラックスの比、すなわち変換効率は減勢工内の流況の変化に対応して変化する。
- 3) 発生音は不明瞭ではあるが 2~3Hz の位置に卓越周波数を持ち、周波数が大きくなるほど各周波数成分が小さくなるピンクノイズ状の特性を持つ。
- 4) 発生音の周波数スペクトルは、流量によらず、一定の形状を示す。