

## 管きよ落差工の発生音予測実験の相似則に関する研究

大成建設（株）技術センター 正会員 大谷 英夫  
 大成建設（株）技術センター 買手 正浩  
 大成建設（株）技術センター 正会員 東江 隆夫

表-1 実験条件

run	想定縮尺	流量(m <sup>3</sup> /s)	落差(m)	水深(m)	管径(m)
run1-1	1:1	0.25	2.10	1.00	0.20
run1-2		0.13			
run1-3		0.06			
run1-4		0.03			
run2-1	1:2	0.044	1.05	0.50	0.10
run2-2		0.022			
run2-3		0.011			
run2-4		0.006			
run3-1	1:10	0.00079	0.21	0.10	0.02
run3-2		0.00040			
run3-3		0.00020			
run3-4		0.00010			

### 1. はじめに

近年、市街化等に伴う浸水被害の拡大、既設下水道施設の老朽化・能力不足の問題等が顕在化し、下水道の機能自体の高度化が求められてきている<sup>1)</sup>。こうした背景のもと、下水道管きよ、人孔、落差工などが大規模化し、「落水による音の発生」が新たな課題として挙げられるようになった。堰からの落水の発生音については田矢ら<sup>2)</sup>などの論文があるが、本研究では、「管きよの落水による音の発生」についてその予測方法の一つである水理模型実験手法の開発を目的とし、実験の相似則について検討を行った。

### 2. 実験方法

写真-1、写真-2 に示すように平面水槽にパイプを立ち上げ、落差工を模擬した。実験条件を表-1 に示す。想定縮尺はフルード則に従い、流量、落差、着水水槽の水深を変化させた。フルード数は、4種類である。発生音の計測については、受音点は各タイプの幾何縮尺に合わせて落水地点から流水横断方向に  $x=1m, 0.5m, 0.1m$ 、高さ方向に  $y=1m, 0.5m, 0.1m$  の位置とし、10秒間の等価音圧レベル ( $L_{eq}$ ) を計測した。



写真-1 run1-2

### 3. 実験結果および考察

(1) 落水音の周波数特性 落水音の音圧レベルは250Hz帯域になだらかなピークを持つ広帯域ノイズであり (run1, S=1:1)、そのピークは模型縮尺に応じて、500Hz帯域 (run2, S=1:2)、2500Hz帯域 (run3, S=1:10) に周波数シフトしていることが確認できる (図-1)。図-2は模型縮尺に応じて実物スケールに周波数をシフトした音響パワーレベルであり、250Hz帯域にピークが一致した。この傾向は、他のフルード数条件も同様で、発生音の周波数は、縮尺模型における音響現象の相似則<sup>3)</sup>に従うことが確認された。すなわち、模型の幾何縮尺を  $L_m$  とすると、音波長:  $L_m = L_p$ 、周波数:  $f_m = f_p / L_m$  (添字 m: 模型, p: 実物) である。



写真-2 run3-2

(2) 落水のエネルギーと音響パワーレベル  $L_p$  の関係 落水の音響パワーは落水のエネルギーの一部が変換されたものと解釈できる。計測した音響パワー  $P$  と比較するため水流のパワーを式(1)で定義した。

$$P_w = U \cdot Q \quad [W] \quad (1)$$

ただし、 $Q$ : 流量 [m<sup>3</sup>/s] である。 $U$  はエネルギーで式(2)で与えられる。

$$U = \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z \quad [J/m^3] \quad (2)$$

ただし、 $\rho$ : 水の密度 [kg/m<sup>3</sup>]、 $v$ : パイプ出口の流速 [m/s]、 $z$ : 落下高さ [m]

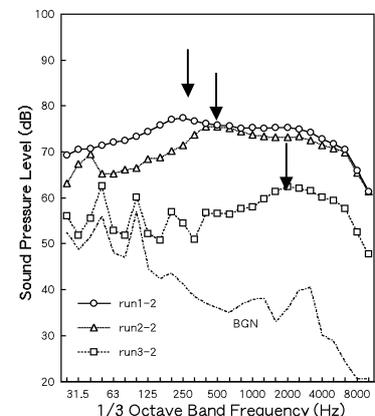


図-1 落水音の音圧レベル (runX-2)

キーワード 落水音, 管きよ, 落差工, 下水道, 模型実験, 相似則

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7234

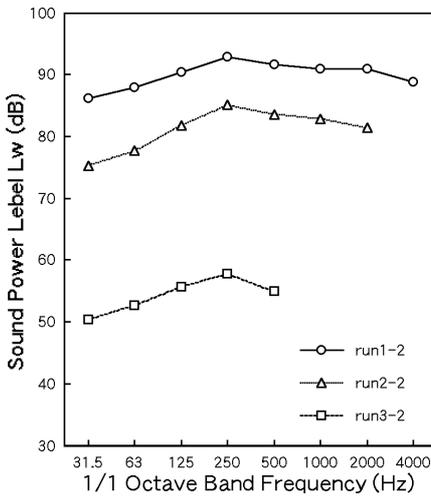


図-2 落水音の音響パワーレベル (runX-2)

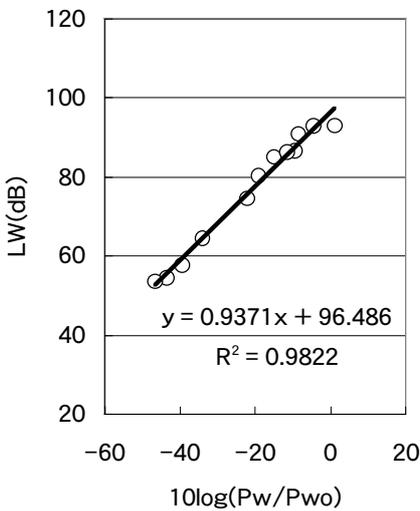


図-3 Lw と水流パワーの関係

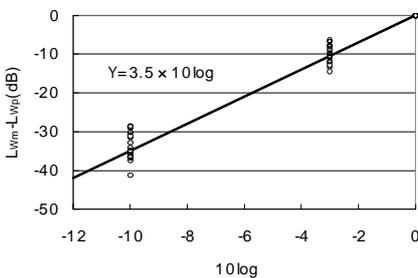


図-4 幾何縮尺と Lw の関係

である．落水音のパワー $P$ と水流のパワーの関係を次式で定義する．

$$\frac{P}{P_0} = \alpha \left( \frac{P_w}{P_{w0}} \right)^\beta \tag{3}$$

$P_0=10^{-12}$  (W) ,  $P_{w0}$ は流量 $1\text{m}^3/\text{s}$  , 流速 $1\text{m}/\text{s}$  , 落差 $1\text{m}$ の落水の水流パワーと定義した．これをレベル表示すると次式を得る．

$$\begin{aligned} L_w &= 10\log_{10} \frac{P}{P_0} \\ &= 10\beta \cdot \log_{10} \frac{P_w}{P_{w0}} + 10\log_{10} \alpha \end{aligned} \tag{4}$$

計測されたすべての落水音の250Hz帯域の音響パワーレベル $L_w$ と水流パワーとの関係を図-3に示す．両者は強い線形関係を示し,  $L_w$ は水流パワーにより一義的に決定できることが明らかとなった．

#### 4. 相似則

落水の発生音を支配している物理量として,  $h$ : 水深,  $V$ : 流速,  $\rho_a$ : 空気の密度,  $\rho_w$ : 水の密度,  $\mu_a$ : 空気の粘性係数,  $\mu_w$ : 水の粘性係数,  $c_a$ : 空気中の音速,  $c_w$ : 水中の音速,  $\sigma$ : 表面張力,  $T$ : 音の周期,  $g$ : 重力加速度,  $D$ : パイプを挙げる．基本量を $h, V, \rho_w$ とし, バッキンガムの定理から10ケの無次元量が得られ, これらの無次元量を模型と実物で同一にすれば相似律が成立する．ここで, 図-3により, 音響パワー $P$ は水流パワー $P_w$ という水理量で一義的に式(3)の関係となることから, 空気に関する物理量を含む無次元量は無視でき, 重力と慣性力の作用が卓越した現象であることがすでに実験から示されている．よって, フルード則が成立するとし, 発生音の縮尺を求めるとすれば $P$ の縮尺は $\pi_1 = P / (h^2 V^3 \rho_w)$ より式(5)のようになる．

$$\frac{P_m}{P_p} = \frac{h_m^2 V_m^3}{h_p^2 V_p^3} = \lambda^2 \lambda^{1.5} = \lambda^{3.5} \tag{5}$$

すなわち, フルード則で縮尺した管きょ落差工実験では, 音源のパワー $P$ が実物に対して幾何縮尺の3.5乗に比例する．これをレベル表示し実験結果と比較する(図-4)． $10\log_{10}$ の傾きはほぼ3.5となり,  $P$ が実物に対して幾何縮尺の3.5乗に比例することが示された．この結果,  $P_w$ の縮尺( $P_w$ )<sub>r</sub>は幾何縮尺と $(P_w)_r = (UQ)_r \sim \lambda \cdot \lambda^{2.5} = \lambda^{3.5}$ の関係にあることから,  $P$ の縮尺と $P_w$ の縮尺は幾何縮尺に対して等値で, 式(3)において「 $\beta = 1$ 」が導かれた．

#### 5. 結論

管きょ落水の発生音を予測する手法として水理模型実験を想定し, 発生音の音響特性および相似則について検討した．落水音の周波数特性は, 音響実験の模型則に従うこと, 落水の音響パワーと水流パワーは強い線型関係にあることを実験により見いだした．この事実に基づき模型実験にフルード則を用いると, 落水音の音響パワーの縮尺は幾何縮尺の3.5乗に従うことを導き, 実験結果を用いて検証した．

#### 参考文献

- 1) 平成14年建設白書, 国土交通省
- 2) 田矢晃一・小川博正・山下充康: 堰から落ちる水の音, 騒音制御, Vol.6, No.4, 1982, pp37-40
- 3) 橋秀樹, 石井聖光: 音響模型実験における相似則と実験手法, 日本音響学会誌 32 巻 10 号, 1976