

越流水脈の振動特性に関する研究

京都大学工学部 正 員 中川 博次 京都大学工学部 正 員 Charles.W.Knisley
 京都大学大学院 学生員 川越 正啓 京都大学大学院 学生員 栗本 卓

1. はじめに ゲートや堰を越えて流れ落ちる越流水脈が振動することによって、大きな騒音が発生するが、この水脈振動の防止対策として、水脈を仕切り板によって幾つかに分断して、越流水脈下の空洞の空気と外気を通じさせ、振動を止める方法がなされている。しかしこうした処置を施しても振動が続く場合があり、本研究ではこのような点に注目して、水脈下の空洞が外気と通じている状況に対して、Helmholtz の共鳴器を発展させた理論を適用して、水脈の振動を説明し、その適用の妥当性を実験によって検討していくものとする。

2. 固有振動数の理論値 表1のように図1の諸量に対する記号を定める。Knisley¹⁾によると、水脈下の空洞が外気と通じているとき、越流水脈の振動に対して、開口部のピストンの変動と越流水脈の変動の関数として表される2自由度のHelmholtzの共鳴器のモデルを当てはめ、減衰項を無視して考えると、開口部のピストンの変動の固有振動数 ω_a 、越流水脈の変動の固有角振動数 ω_n 、空洞の振動数 f_a は、次のように計算できる。

$$\omega_a^2 = A_a C^2 / VL$$

$$\omega_n^2 = SL_n C^2 / \rho h V$$

$$f_a = \sqrt{\omega_n^2 + \omega_a^2} / 2\pi \quad (1, k; 0, 1, 2, 3, \dots)$$

3. 実験方法 本実験では循環式水路の上に設置した、図-2のようなタンクおよび固定堰より成る木製の装置を使用した(図-3は、固定堰の部分図であり、先端部は金属製である)。タンクからおくられた水が、堰を越えて越流水脈を形成するようにし、微差圧計を使用して、越流水脈下の空洞内の圧力の変動を測定した。実験で用いたパラメータは表2の通りである。

4. 実験結果および考察 図-4は $h_a = 20\text{cm}$; $R=0$ 、図-5は $h_a = 20\text{cm}$, $R=0.0087$ のときの越流水深 h_o と振動数 f との関係を表したものである。図-4を見ると、 $h_o \geq 2.0\text{cm}$ において、理論値と実測値が、ほぼ一致している。一方図-5を見ると、 $h_o \geq 1.5\text{cm}$ においてほぼ一致している。このことから $h_o \leq 1.5\text{cm}$ では、Helmholtz の共鳴器のモデルが適用でき無いのに対し、 $h_o \geq 2.0\text{cm}$ においては適用でき、 $1.5\text{cm} \leq h_o \leq 2.0\text{cm}$ は遷移区間であると考えられる。考察すると、越流水脈の厚さが厚いときは、慣性力が大きく、水脈と水脈下の空洞の空気の間、マスーバネ系の振動を生じるため、Helmholtz の共鳴器のモデルが適用できるものと考えられる。また越流水脈の厚さが薄いときは、慣性力が小さいため、マスーバネ系の振動は生じず、越流水脈の表面張力によって起こる

Hiroji Nakagawa, Charles.W.Knisley, Masataka Kawagoe & Taku Kurimoto

振動が生じていると思われる。図-6は、 $h_0=2.0\text{cm}$ 、 $h_d=20\text{cm}$ のときの開口面積比 R と振動数 f との関係を表したもので、この領域においては実験値は開口面積が大きくなるに従って、振動数が大きくなっており、理論値と同じ性質を示している。

5. おわりに 本実験において、越流水脈が厚いとき慣性力が大きく Helmholtzの共鳴器のモデルが、越流水脈の振動に適用できることが実証された。この理論は、堰におけるスプリッタの設置に有益な情報となるとと思われる。今後は、騒音計やマイクを使い、音の拡散によるエネルギーの損失も考慮した、より発展した実験を行うつもりである。

〔参考文献〕1)Knisley,C.W. (1988), "Helmholtz Resonator Model of Nappe Oscillations," Proceedings of the 6th IAHR-APD Congress, Kyoto, Japan, 20-22 July, pp667-674.

表-1

h_0	越流水深
h_d	下流水深
A_0	背後に開いている開口の面積
C	音速
L	開口端補正を考慮した開口の厚み
S	越流水脈の長さ
L_s	越流水脈の幅
ρ	水の密度
$\bar{h}$	越流水脈の厚みの場所的平均
V	越流水脈の背後に開かれた空洞の体積
R	開口部面積/越流水脈の表面積

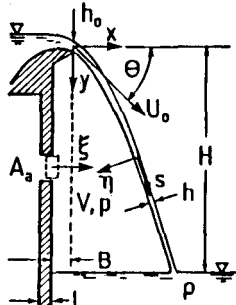


図-1 Nappe Geometry

表-2 パラメータ

①越流水深 h_0 ($0.5\text{cm} \leq h_0 \leq 2.8\text{cm}$)
②下流水深 h_d ($h_d = 0.7, 5.20, 30\text{cm}$)
③開口部の面積 A_0 ($A_0 = 3.18 \times 10^{-4}, 24.63 \times 10^{-4}, 0.02262, 0.16, 0\text{m}^2$)

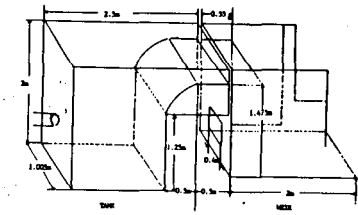


図-2 実験装置

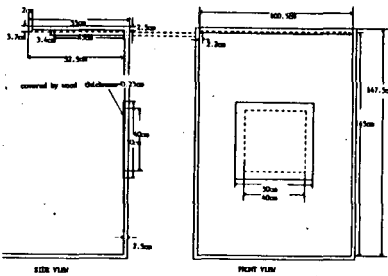


図-3 腔の形状

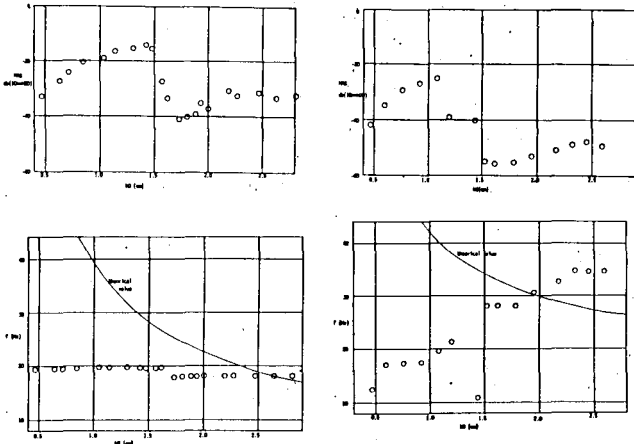


図-4 $h_d = 20\text{cm}$, $R=0$ のときの h_0 と f の関係

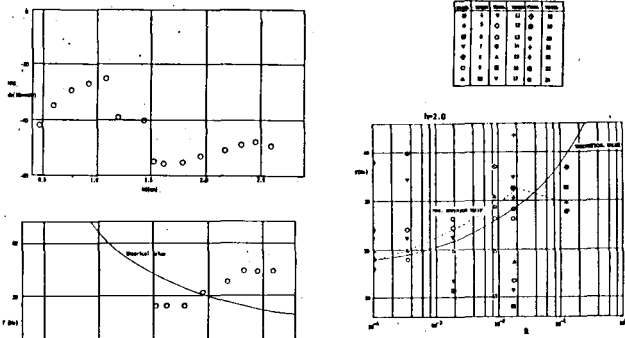


図-5 $h_d = 20\text{cm}$, $R=0.0087$ のときの h_0 と f の関係

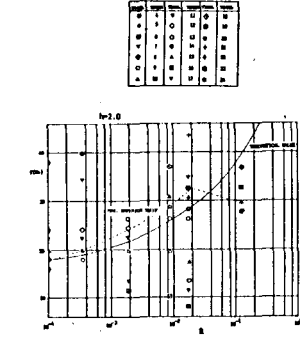


図-6 $h_d = 20\text{cm}$, $h_0 = 2.0\text{cm}$ のとき、 R と f の関係