

水撃圧の負圧について

山梨大学 工

萩原能男

1. まえがき 水撃圧の基礎方程式は一般に図-1に示されるように貯水池より下流側へ管軸にそってX軸をとリ、時間をも、平均流速を v 、圧力水頭を H 、重力の加速度を g 、水の体積弾性係数を K 、鋼管の弾性係数を E 、内径を D 、肉厚を b 、水の単位重量を w 、水撃圧波速を a とすると、運動の方程式および連続の方程式は、

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -g \frac{\partial H}{\partial x} \quad \text{---- (1)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} = -\left(\frac{1}{K} + \frac{D}{Eb}\right) w \frac{\partial H}{\partial t} \quad \text{--- (2)}$$

$$a = \sqrt{\frac{g}{w\left(\frac{1}{K} + \frac{D}{Eb}\right)}} \quad \text{--- (3)}$$

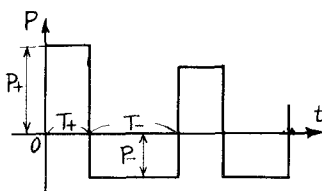


図-2

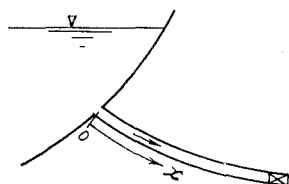


図-1

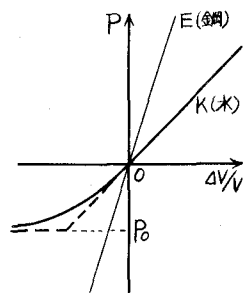


図-3

であてえられる。急閉塞によるバル

ブのところの圧力変動は図-2に示されるように、正圧は $H = av/g$ なる関係より流速変化に比例しておこるが、負圧は絶対圧力0より低下しないという条件があるため P より低下することがない。このとき水中にはガスが瞬間的に発生し、弾性係数 K が小さくなるものと考えられる。このときの体積変形 $\Delta V/V$ と圧力との関係は図-3のように想像され、 K の値も図-4のように絶対圧力0に近づくにしたがって小さくなるものと想像される。

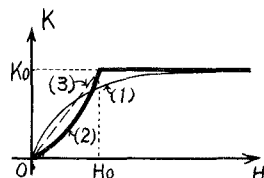


図-4

2. K と H の関係 K と H の関係を定めて式(1)、(2)に示す基礎方程式を解くことが本研究の最大の目的である。図-4に示す曲線(1)の

ように上に凸のグラフで K が0に近づく場合は、 a_0 を正圧の波速として、負圧時の波速 a は $g/a = g/a_0 + n\alpha/H^{n+1}$ ($n=1, 2, 3, \dots$, α 定数), であるとして、 $K = (g/(wa^2) - D/(Eb))^{-1}$ なる関係で K を定義すれば良い。また曲線(2)のように上に凹の形で K が0に近づく場合には $H \geq H_0$ のとき $K = K_0$ 、 $H < H_0$ のとき $a = a_0 H/H_0$ および

$$K = H^2 / \left[\frac{D}{Eb} \left\{ \left(\frac{Eb}{K_0 D} + 1 \right) H_0^2 - H^2 \right\} \right]$$

とすれば良い。

また曲線(3)のように直線的に K が0に近づく場合には $H \geq H_0$ のとき $K = K_0$ 、 $H < H_0$ のとき $K = K_0 H/H_0$ とすれば良い。これ等の3つの仮定のうち直線的仮定は水が気体化してボイルの法則にしたがうという考え方に近いが、後述のように最とも現実と一致しないものである。

3. 特性曲線 式(1)、(2)の特性曲線を K が H の関数であることを考えに入れて求めると、

$$\frac{dx}{dt} = \pm a \quad \text{---- (3)}, \quad dv = \mp d \left\{ g \frac{dH}{a} \right\} \quad \text{---- (4)} \quad (\text{複合同順})$$

となり (3) 式の上になつて、(4) 式を用いて図式解法をする場合、図-6 に示すように横軸を v 、縦軸を $g \frac{dH}{a}$ とした座標系を用いれば良いことになる。実験の結果、図-5 に示されるように初期管内流速 v_0 と負圧の半周期目の波速 a との間には $a \cdot v_0 = \text{const}$ なる関係がみられる。一方 $v_0 = gH/a_0$ なる関係を考えるに $a \cdot H = \text{const}$ なる関係も成立することになる。これは図-4 に示す $K-H$ の関係は曲線 (2) が最良の結果をあたえることを意味する。また図-7 に示すように、 $K \sim H$ の仮定を図-4 の曲線 (1), (2), (3) とし特性曲線の縦軸 $g \frac{dH}{a}$ を計算すると、曲線 (1), (2) は負圧の頭打現象を説明出来るが、(3) は特性曲線の縦軸がマイナスの方向にのびないので K の仮定に誤りがあることになる。図-6 は特性曲線を用いた図解方法の例で Schnyder-Bergeron の特性直線法と全く同様に使われる。

4 ま と め 図-6 の縦軸を定める場合、 $K \sim H$ の関係が正しくないと、図-7 に示されるように負圧の波速の実験値と計算値とが一致しなくなる。図-7 の (1) は $n=2$, $\alpha=1/5$ とし計算、(2) と (3) は $H_0=10\text{m}$ とし計算したもので多くの計算結果の一部である。いずれも波速が実験と一致しないため $K \sim H$ の関数関係の仮定に問題が残されている。この点について今後より

正確に研究をすすめたい。本研究は文部省科学研究所(特定研究)の援助を受け、本学の学生であった上野操治君(京大大学院)その他の方々の協力を受けたことを報告し、深く謝意を表わす。

実験数値の概略

管路長 $L=106.3\text{m}$, 内径 $D=80\text{mm}$

管壁厚 $b=4.55\text{mm}$

粗度係数 $n=0.010$

波速 $a_0=1290\text{m/s}$

落差 $\Delta H=12.23\text{m}$

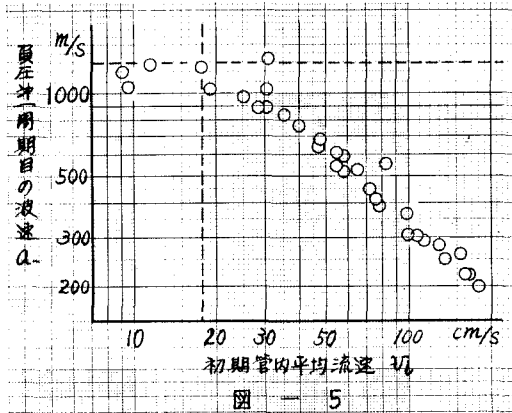


図-5

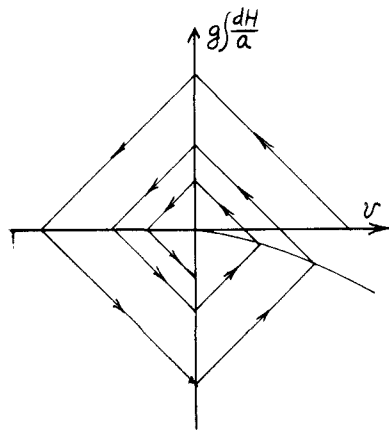


図-6 急閉塞に対する図解法

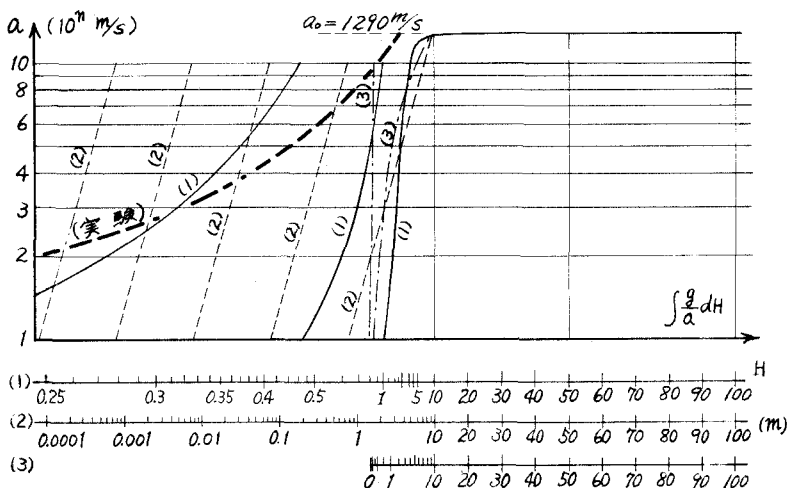


図-7 特性曲線圧力軸と波速の関係