

山梨大学工学部 正員 萩原能男
山梨大学大学院 〇学生員 砂田豊吾

1. まえがき 水撃圧の負圧部分について、才23回の年次講演会において、その解析の緒を報告している。そこでは、負圧時の水の体積弾性係数 K を水撃圧 H の関数として検討し三種類仮定した。今回は、水撃波速 a を H の関数として仮定を試み、より実験値に合うことを確かめ考察を加えた。

2. 特性曲線 いま、時間を t 、平均流速を v 、圧力水頭を H 、重力加速度を g 、水の体積弾性係数を K 、鋼管の弾性係数を E 、管内径を D 、管内厚を b 、水の単位重量を w 、水撃波速を a として、図-1に示されるような管路系の場合、パルス箇所での圧力変動を検討することにより、 K が H の、従って水撃波速 a が圧力 H の関数であることが考えられ、水撃圧の基礎方程式は次のように書かれる。

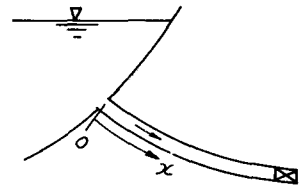


図-1

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -g \frac{\partial H}{\partial x}, \quad \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{g}{a^2} \frac{\partial H}{\partial t} = -f(H) \frac{\partial H}{\partial t}, \quad \text{ここで } a = \sqrt{g \left\{ w \left(\frac{1}{K} + \frac{D}{Eb} \right) \right\}}$$

上式の特性曲線は次のように求まる。これらは直接に図式解法に關係するものである。

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

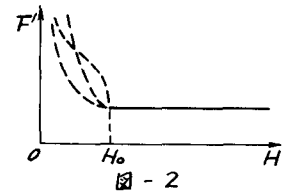


図-2

3. a , K と H との關係 ここで $F(H) = g \frac{dH}{a}$ とおくと、 $F' = \frac{g}{a}$ となり、 $H \geq H_0$ (H_0 は波速の変化し始めるときの限界の圧力水頭) に対して、 $a = \text{一定}$ 、 $H < H_0$ で $H \rightarrow 0$ のとき $a \rightarrow 0$ なる条件から、 $F' \rightarrow \infty$ 。したがって、 F' は図-2のようなものであるべきである。よって水撃波速 a は、その逆関数 $a = \frac{g}{F'}$ で与えられ、グラフは図-3のようになることが推察される。これらの条件を満たす関数 a をいま、 $H \geq H_0$ のとき $a = a_0$ (一定)、 $0 < H < H_0$ のとき $a = \alpha H^\beta$ と仮定する。このことは、体積弾性係数については、 $K = H^{2\beta} \left[\frac{g}{w\alpha^2} - \frac{DH^{2\beta}}{Eb} \right]$ とする仮定を意味する。 α , β は定数で、値が決定すれば H_0 は a_0 とから逆に求めることになる。

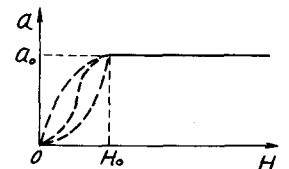


図-3

4. 実験および考察 実験装置の概要は、管路長 $L=1063$ m、管内径 $D=80$ mm、管内厚 $b=4.55$ mm 粗度係数 $n=0.010$ 、落差 $\Delta H=13.23$ mである。実験の結果及び前記の α , β の計算結果の一部は図-4の通りである。この関係から、 $g \frac{dH}{a}$ を求め縦軸に H を目盛って図解法がなされる。 $H < H_0$ では不等間隔に目盛られ、一般の特性直線法と同様に使われる。同時に初期管内流速と水撃波

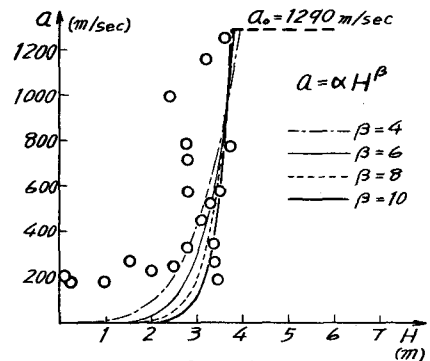


図-4

速との関係は図-5のようになる。図-4の実験値をみると水撃波速が200 m/sec辺で仮定した曲線と離れていく傾向にあるため、図-5で波速200 m/sec以下一致しなくなる。図解法において、実験値とよく一致するのは、 $\alpha=2.00/9$ $\beta=10$ とした曲線をもとにした場合である。別に減衰曲線として、 $H_p = A\sqrt{v} + Bv$ (H_p は水頭損失) をとり実験的に求めている曲線を挿入して、図-6に示されるように図解法をし実験結果と比較すれば、図-7のようになる。

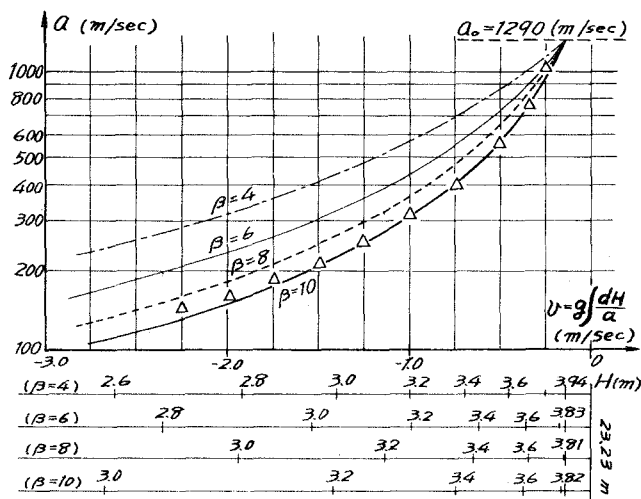


図-5

る。例では初期流速 $v=91.4$ cm/sec の場合である。両者はほぼ一致している。縦軸に対する基線、即ち $H_p=0$ は確定した値として全水頭とし、定常状態の圧力水頭とはこの例の場合、1.78 m の差がある。基線の実験値に対し、周期(波速)等と直接関係し、減衰曲線と共にまだ検討される必要がある。

5. まとめ $K \sim H$ の関係を一定としたのが従来の水撃波速 a = 一定の扱扱であった。波速一定と見なせ得ない水撃圧(ある値より低い負圧を生ずるような場合)に対して、ここでは、図-4のように、負圧時については唯一の曲線 $Q = \alpha H^{\beta}$ をもって、 H と共に変化する水の体積弾性係数を考慮した。しかし現象をみると、実際にはさらに次のようなことが推測される。水撃負圧が限界の圧力 H を越えて低下すると、管内にはキャビテーション等による気体の混入した状態になり、急激な体積弾性係数の変動をみる。さらに一定の圧力以下になると、水とその中に含まれる気

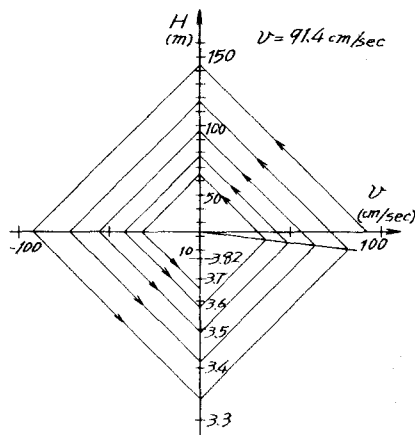


図-6 図解法例

体とで定まる別の体積弾性係数が気体の係数を中心として支配的にふるまうだろう。そうした場合、全体として K は、水、水と気体との混合及びその間の遷移状態について定められる必要があり、急変点を与えるそれぞれの限界の圧力は、水温にも関係すると考えられる。今後、この点を含めさらに解析を進める方針である。本研究に関し、石川健二(東洋建設)、小野幸春(住友建設)両氏その他の方々の協力を受けたことを報告し、深く謝意を表します。

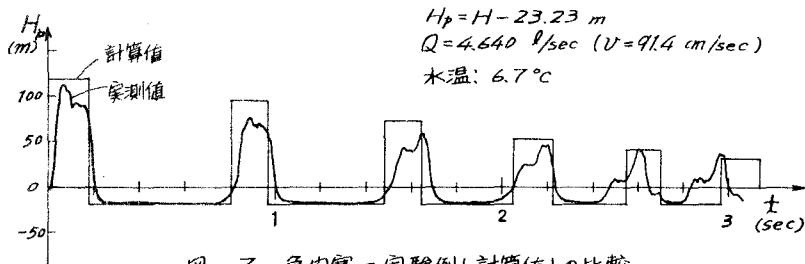


図-7 急閉塞の実験例と計算値との比較

$H_p = H - 23.23$ m
 $Q = 4.640$ l/sec ($v = 91.4$ cm/sec)
 水温: 6.7°C

* Schnyder-Bergeron の方法