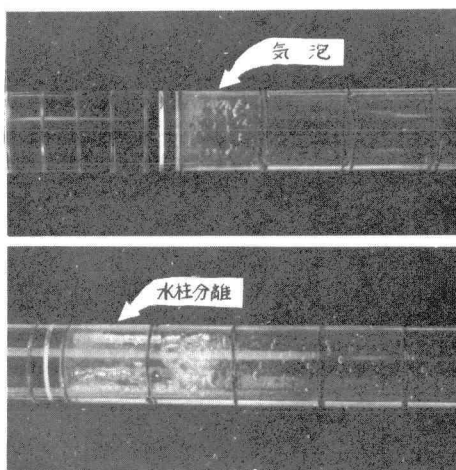


山梨大学工学部 萩原 能男

1. まえがき

水撃現象において異常な圧力低下が生ずると、時々その状態における水の蒸気圧以下に圧力が降下してキャビテーションによる気泡発生や水柱分離現象があらわれる。常圧管路においては 10 cm/s 前後の流速変化によって簡単にこの種の現象が発生する。したがって、サージタンクや弁などによって管内に圧力降下が生じないよう配慮するのが一般である。

水の気化現象を考慮した水撃現象の解析は L. Escande¹⁾ W. H. Li²⁾ らによって 15 年ほど前より始められ、国内でも笠原、棚橋等が同様な研究をすすめた³⁾。しかし、一般に広くその計算方法が利用されるに至っていないのはいくつかの問題が残されているからであろう。例えば、ここで取り上げた気泡発生と水柱分離発生問題もその一つである。すなわち、圧力降下が比較的小さい場合には管内の水中に気泡が発生するのみであって、さらに圧力低下量が増大することによって、はじめて水柱分離が発生するのである。右の写真は管内に気泡が発生している場合と、水柱分離が発生している場合を示したものである。筆者は、学生等の協力を得てここ 2 年間この二種類の現象の発生領域を実験により確かめたので、ここに中間発表をする。



写真

気泡発生と水柱分離発生を示す写真

2. 基礎方程式

水撃現象の計算は一般に次に示す特性方程式を用いて行われる。管路の水中に気泡が混入しても、水柱分離が発生しても、これ等の方程式はそのまま用いることが可能である。

その特性方程式は

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{Q}{A} + a \\ dH &= -BdQ - R|Q|Q \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{Q}{A} - a \\ dH &= BdQ + R|Q|Q \end{aligned} \right\} \text{----- (2)}$$

記号文字の説明

x : 管路にそう距離軸, t : 時間,
 Q : 流量, A : 管路流積, a : 水撃圧波速,
 H : 圧力水頭, $B = a/gA$,
 $R = f dx / 2gDA^2$

の二組である。

さて、図-1 に示すように A の状態で流れている管路において、急激に断面を全閉して流れを遮断して B の状態になったとしよう。この場合遮断点の上流側では圧力が上昇して水は圧縮され管は膨張するが、下流側では逆に圧力が低下して水は膨張して管は縮小する。ここでは、この下流側の圧力低下部分について説明する。すなわ

ち①の状態の流れ(圧力水頭 H_1 , 流量 Q_1) が②の状態(圧力水頭 H_2 , 流量 Q_2) に変化することになる。この関係は式(2)を用いて次のように表現される。

$$\left. \begin{aligned} H_2 - H_1 &= B(Q_2 - Q_1) + R|Q_0|Q_0 \\ Q_0 &= 0.5(Q_1 + Q_2) \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (3)$$

3. 気泡発生・水柱分離の度を示す無次元量

式(3)において、 H_2 が水の蒸気圧水頭 HVPより低下することは不可能である。計算上、 H_2 が HVPより小さく計算された場合には $H_2 = \text{HVP}$ となるように Q_2 を定める方法、すなわち図-1の②の状態でも流量が Q_2 になるような流れが存在すると考える……この方法を水柱分離理論と云う。〈2〉また、 $Q_2 = 0$ として $H_2 = \text{HVP}$ となるように定数 B (波速 a によって定まる) を変える方法……この方法を波速変化理論と云う。〈3〉前述の両理論を併用する方法 とが考えられる。

等者は気泡発生と水柱分離発生の度を示す無次元量として式(3)を用いて、計算圧力降下量に着目して

$$\xi = \frac{H_1 - BQ_1 + R|Q_0|Q_0 - \text{HVP}}{\text{HVP}} \cdots \cdots (4)$$

なる無次元量と、波速変化率に着目して

$$\varphi = \frac{H_1 - \text{HVP}}{BQ_1} \cdots \cdots (5)$$

の二つの無次元量を設定して実験資料をまとめた。

4. 実験結果とまとめ

実験管路は内径 39 mm, 肉厚 4.6 mm, 長さ 91.95 m の塩化ビニール管である。大気圧を 0 としたゲージ圧を用いて式(4), (5)を計算すると、気泡混入・水柱分離の発生しない領域では理論上 $\xi < 0$, $\varphi > 1$ となる。実験(資料数 312 個)によると、図-2に示すように

気泡発生領域として $-0.2 < \xi < 0.7$
 $0.55 < \varphi < 1.25$

水柱分離発生領域として $\xi > 0.15$ $\varphi < 0.9$

であり、両領域が重複するようになっている点に注意しなければならない。

本実験には本学学生であった 浅野哲男, 渡辺耕一, 竹内洋一, 本多和夫の諸君らの協力を得たことを付記し謝意を表したい。

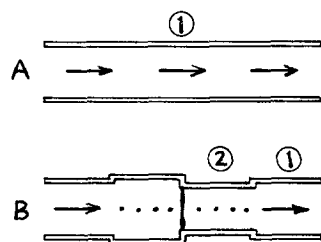


図-1. 低圧発生例

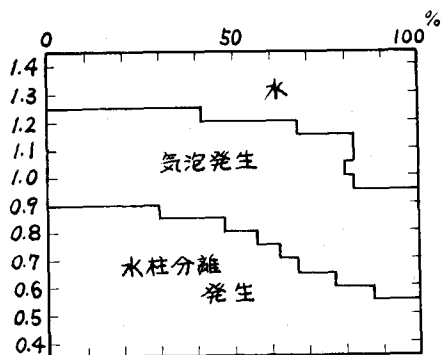
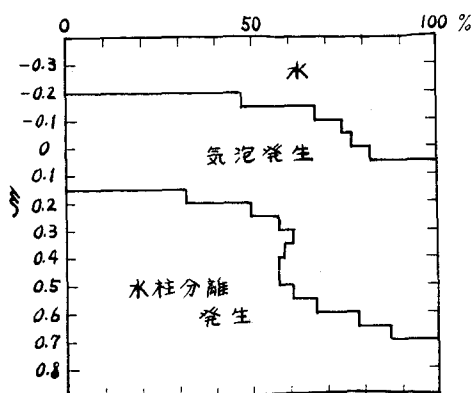


図-2. 気泡・水柱分離発生領域

- 1) Escande, L.; Arrêt Instantané du Débit d'une Conduite Forcée avec Cavitations. Proc. IAHR, Symp. 1962
- 2) Li, W. H.; Mechanics of Pipe Flow Column Separation. Proc. ASCE, Vol. 88, No. EM4, August, 1962
- 3) 笠原英司, 棚橋隆彦; 水柱分離を伴う水撃作用の解析, 日本機械学会論文集(Fluid) 34巻 263号 1968年 7月