

II-220 低圧時水撃現象の計算式の改善について

（株）青木建設 正会員 谷口秀明
山梨大学工学部 正会員 荻原能男

1. はじめに

管水路においてポンプ急停止、弁の誤操作、地震等の外力による断面閉塞などが生ずると、一般に水撃現象が発生する。しかし、低圧時における水撃現象の計算式に関しては、未だ完成していないのが現状である。1962年にL.EscandeおよびW.H.Liによって水柱分離理論が提案されたが、水中に気泡の含まれる領域が無視されているためにあまり実験値と一致しない。これに対し荻原は、気泡混入による波速の減少を考慮した波速変化理論を提案している。そこで、本研究では従来の波速変化理論に改良を加える事により、さらに実験値と一致する事を確かめ検討した。

2. 解析方法

管軸流下方向に x 軸をとり、時間を t 、流量を Q 、平均流速を V 、圧力水頭を H （ $H = Z + P/\rho g$ であるが、実験では $Z \approx 0$ ）、水撃圧の波速を a 、流積を A 、管内径を D 、重力加速度を g 、管の摩擦損失係数を f とすると、水撃現象に用いる特性方程式は以下になる。

$$dx/dt = \pm a \quad \dots (1)$$

$$dH = (BdQ + RQ|Q|) \quad \dots (2)$$

ただし、 $B = a/gA$ 、 $R = f \cdot dx / (2gDA^2)$ であり、 $a \gg V$ のため $V = 0$ とし、 A の変化は無視できるものとする。

実験では、図-1に示すように管路上流端において円柱を流し、断面急縮部で瞬間的に閉塞する。この場合を式(1)、(2)を用いて、 $H \sim Q$ 面上で図解したのが図-2である。初期定常状態である①から出発した特性直線が②に到達した時、その圧力水頭 H_2 がHVP以下であるならば、水柱分離理論では $H = HVP$ とし、③と④に分け、その流量差に時間を乗じCairty（空洞）として計算する。しかし、波速変化理論では、特性直線の傾き B を変えて②から④に移動する。つまり、蒸気圧時の水中に含まれる気体を分離せず、混合状態として考えている。（HVP = 水の蒸気圧水頭）

3. 実験値との比較・検討

上流側閉塞の場合、一般の水撃計算では図-3に示す波形になるが、負圧の頭打ちが生じる

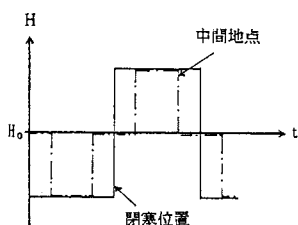


図-3 一般の水撃波形

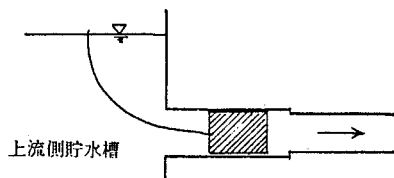
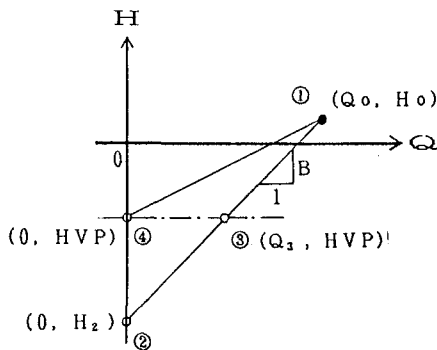


図-1 閉塞方法



HVP：水の蒸気圧水頭

図-2 H～Q面

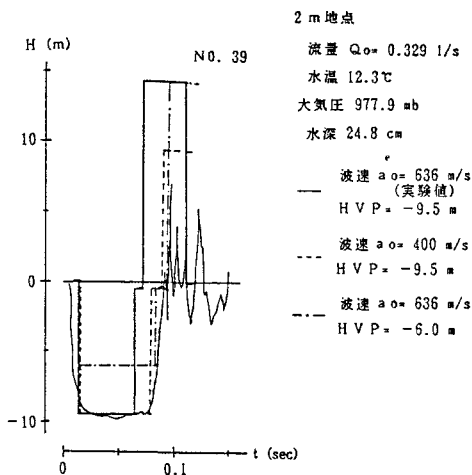


図-4 (1) 実験値との比較

と中間地点の波形はかなり様変わりするようである。図-4を見ると、上流閉塞位置より2 m地点（ただし、管路長は約14 m）の波形は諸値を変化させる事により一致しているが、9 m地点では負圧部分が2回連続して起こり、理論波形と一致しない事がわかる。そこで、原点に戻り、 $x \sim t$ 面、 $H \sim Q$ 面上の変化について考え、図解を行なった。

これまで、図-5において $\Delta 1 \cdot 13 \cdot 21$ 内をHVP領域として考えてきた。しかし、この方法では図-4に示すように9 m地点で2回負圧が生ずる現象は説明がつかない。では、上流側境界において水柱分離を起こしている

ためにHVP状態を継続しているとすればどうであろうか。つまり、 $x \sim t$ 面において $\Delta 6 \cdot 18 \cdot 26$ 内もHVP領域と仮定するわけである。実際、実験において閉塞位置付近の水柱分離を起こしている継続時間はかなりのものである。その結果は、図-6に示す通り、かなり実験値に近い

値を得ている事がわかる。

図-5 波速変化理論の特性直線上の変化

しかし、実験装置上の問題で、正圧以後の変化が明らかでないのは残念な事であり、また、2回目の負圧部分が減衰している点について今後考慮すべきであろう。

4. 最後に

低圧時の水撃圧は、管路の中間地点では、これまで考えられていた圧力変化とは異なった現象を生じる事が判明した。本研究では、従来の波速変化理論に改良を加える事により、さらに実験値に近づく事ができたが、今後一層の改善を必要としよう。

〔参考文献〕

- 1) 荻原能男：利水管路の流動変動にともなう水理学的問題の研究
第2編 管内に水撃圧が生ずる場合の諸問題 1973

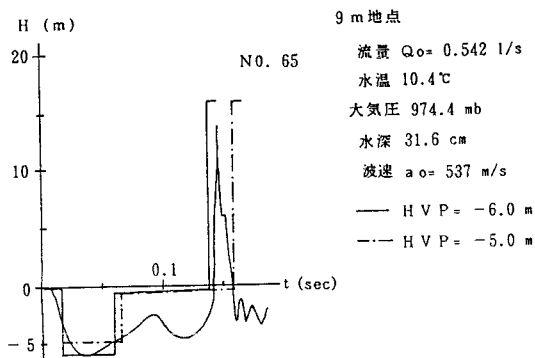


図-4(2) 実験値との比較

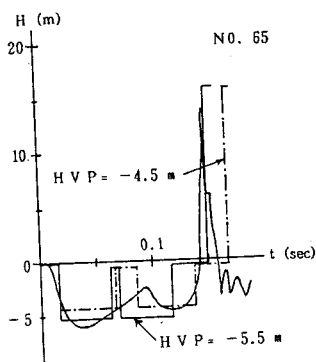
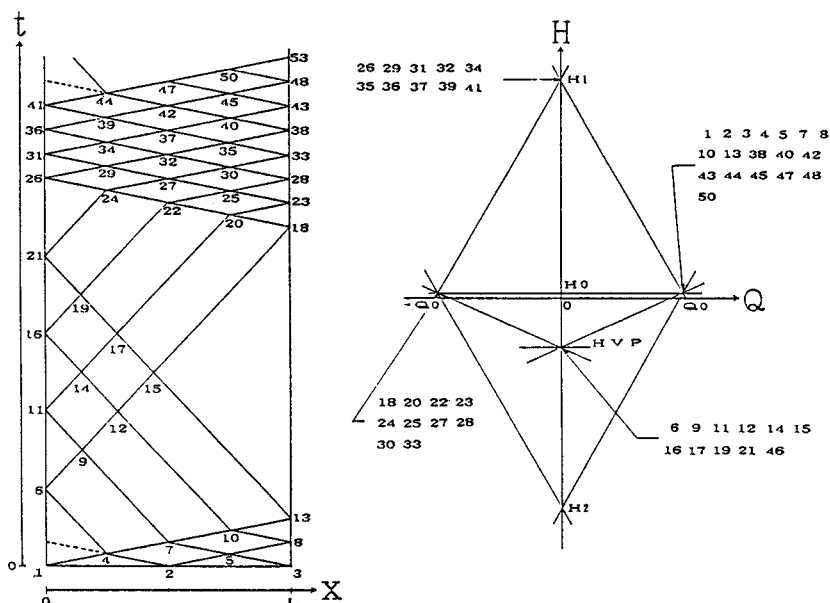


図-6 改良した結果