II－32　分岐管における水撃圧

山梨大学工学部　正員　荻原能男
山梨大学大学院　学生員 ○ 小池一男

1 はじめに　ダムの水圧鉄管などの管路系において、水撃圧を特性直線法を用いて計算する際、一般に管路を等距離間隔に分割して計算をすすめる。しかしながらサージタンク等を有する複数個の管路系では、すべての管路を等間隔で分割できなくなり、そのため特性直線網に乱れが発生する。この乱れに対し補正を施し乱れのない場合の計算値及び実験値と比較することにより、補正方法の適用性を検討した。

2 基礎方程式

水撃現象に関する基礎方程式は、管内の微小流体に働く力の均合い条件より求まる運動方程式(1)と流体及び管材の弾性変形を考慮して求まる連続の方程式(2)を用いる。　(Fig.1 参照)

$$\frac{\partial V}{\partial t}+V\frac{\partial V}{\partial x}=-g\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{f}{2D}V|V| \qquad (1)$$

$$a^2\frac{\partial V}{\partial x}=-g\left(\frac{\partial H}{\partial t}+V\frac{\partial H}{\partial x}\right) \qquad (2)$$

ただし　$a=\sqrt{K/\rho(1+DK/bE)}$ (3)　x：距離軸　t：時間　V：管内平均流速　H：圧力水頭　g：重力加速度　D：管内径　b：管肉厚　f：摩擦損失係数　a：水撃圧波速　ρ：流体密度　K：流体の体積弾性係数　E：管材の弾性係数　である。

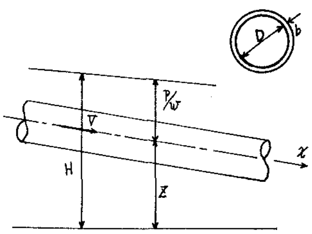

Fig.1

3 基礎理論

(a) 計算基本式　式(1),(2)の特性方程式を流量Qを用いて書きなおすと次式になる。

$$dx/dt=a \qquad dH=-BdQ-RQ|Q| \qquad (A点\rightarrow P点) \qquad (4)$$

$$dx/dt=-a \qquad dH=BdQ+RQ|Q| \qquad (B点\rightarrow P点) \qquad (5)$$

ただし　$B=a/gA$　　$R=f\,dx/(2gDA^2)$　　$A=$流積である。

この関係を用いてFig.2のようにA,B 2既知点より未知点Pの値を求めると

$$\left.\begin{aligned} dt&=dx/a\\ H_P&=(HCP+HCM)/2\\ Q_P&=(HCP-HCM)/2B \end{aligned}\right\}(6)$$

$$HCP=H_A-BQ_A-RQ_A|Q_A|\ ,\quad HCM=H_B-BQ_B+RQ_B|Q_B| \qquad (7)$$

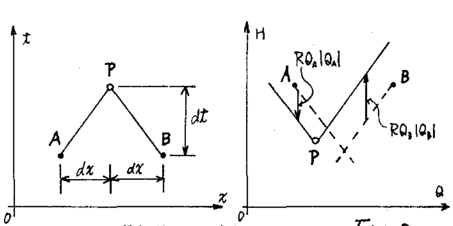

Fig.2

(b) 貯水池側の計算式　流入損失を与える式 $H_P=H_0-HF\cdot Q_P|Q_P|$ (8)とB点よりP点に向かう特性直線 $H_P=BQ_P+HCM$ (9)の交点より求まる。　(Fig.3 参照)

(C) 弁側の計算式　弁の境界条件 $Q_P=PHI\sqrt{|H_P|}\cdot H_P/|H_P|$ (10)とA点よりP点に向かう特性直線 $H_P=-BQ_P+HCM$ (11)の交点より求まる。 (Fig.4 参照)

(d) 分岐点における計算式　連続の方程式 $Q_{P1}=Q_{P2}+Q_{P3}$．特性方程式 $H_P=HCP_1-B_1Q_{P1}$, $H_P=HCM_2+B_2Q_{P2}$, $H_P=HCM_3+B_3Q_{P3}$ を連立して解く。　(Fig.5 参照)

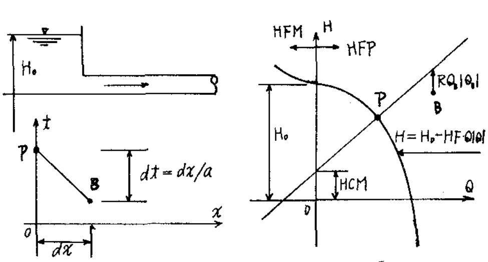

Fig.3

4. 特性直線網の乱れの補正

特性直線法により管路系の水撃圧の計算をすすめる場合，分岐点においては，2dt 時間ごとに流量，圧力水

頭の情報交換が必要になる。しかしながら本報のはじめに述べたように、特性直線網に乱れが生じた場合には、その都度、補正を施さなければ計算が不可能になる。補正方法としては以下の2通りの方法がある。すなわち、距離(x軸)の平均で求める方法(I)、時間(t軸)の平均で求める方法(II)があり、それぞれ端長が(分割長)/2に比べ大小の場合でさらに区別する。ここでは、(I)法で(端長)≦(分割長)/2 の場合のみを扱うが、他の場合も同様にして補正できる。Fig.6を参照しながら計算順序を示す。

1) ①②の値を初期条件より求める。 2) x_x, t_x を①②を平均することにより求める。 3) (N+2),(N+3) 及び①'の値を計算基本式より求める。
4) 以後、2dt時間ごとに補正を施しながら、各々の値を求めてゆく。

単一管路を例にとり、整網の場合と比較した計算結果をFig. 8に示す。

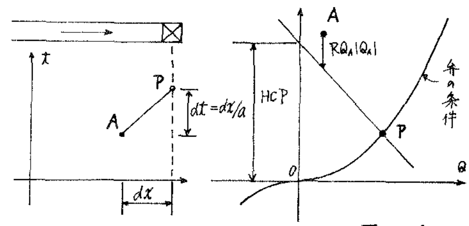

Fig. 4

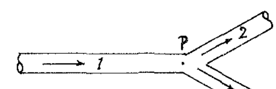

Fig. 5

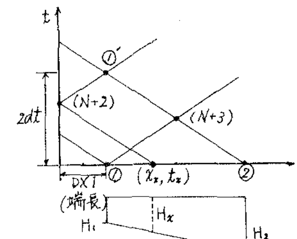

Fig. 6

5 サージタンクの水撃圧解析

(a) サージタンク水面における計算式

圧力Hは水面では高度水頭と同値であるので $H_p = X_p$ 既知点より水面に向かう特性直線より $H_p = -BQ_p + HCP$ となりこの2式より水面の流量 Q_p が求まる。

(b) 水面移動にともなう計算方法

水面の移動を一区切の計算時間2dtごとに求めてゆく。すなわち、ある時刻tに水面の流量が Q_p だったとすると、2dt後の水面の位置は、点Pより、$2Q_p dt/A$ だけ移動している。水面の移動はDXKの長さや、Vの正負大小などにより様々な場合が考えられるが、実際には $V \ll a$ なのでFig. 7に示す様な8種類の場合しかない。この様にして水面の位置が定まれば、以後は、前方法と同様にして、圧力H、流量Qが求まる。

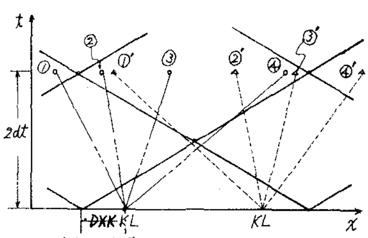

Fig. 7

実験および計算結果をFig. 9に示す。

6 考察および実験値との比較

Fig. 8に示すように単一管路の末端部分において、特性直線網を補正した場合、経過時間が短かい間は整網の場合と比較してほぼ等しい値を得たが、時間が経過するにつれて補正値の誤差が微小時間ごとに累加されてゆくので、その精度も次第に悪くなっている。

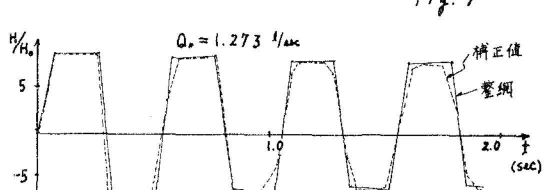

Fig. 8

Fig. 9のサージタンクを有する管路の場合にも、上述と同様のことがいえる。ここで実験値より減衰率が低いのは、摩擦損失係数の取り方の為と思われる。

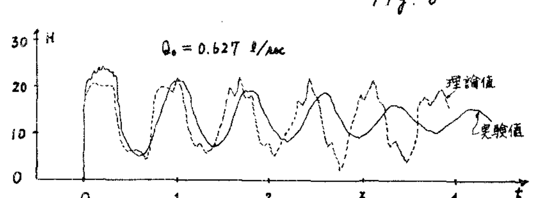

Fig. 9

7 まとめ

本報によるサージタンク等を有する分岐管の水撃圧解析は、上述のような欠点はあるが、管路系に対して影響をおよぼす初期の範囲では、十分に良い精度を得ているので、この補正方法は、かなり適用性があるものと思われる。なお 本報は、負圧の頭打ち現象、波速変化等を考慮しない基礎的な場合であり、現在、その方向に拡張することを検討している。

〈参考文献〉 1) 応用水理学中I 石原、本間編 丸善出版
2) 水柱分離前の水撃現象の計算法 土木学会水理講演会 荻原