

## II - 78

### 水力発電所水圧鉄管の水撃解析

東北学院大学 学生員○石川 純一

東北学院大学 正会員 河野 幸夫

#### 1 まえがき

管の延長方向の各断面に作用する水撃圧の時間的変化を特性曲線法を用いて求める。ここではダムから発電所までの水圧鉄管を簡単にモデル化し、最大水撃圧の発生する位置、又、最大水撃圧による管の破壊を防止するための最短閉塞時間についてコンピューター解析で算出された水撃圧から検討する。

#### 2 水撃理論

##### (1) 水撃波伝播速度

管内の水撃波の伝播速度  $a$  は次式で表される。

$$a = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + (K/E)(D/e)(1 - \mu^2)}} \quad \text{-----}(1)$$

ここで、 $D$ ：管の内径  $4.0 \text{ m}$ ， $K$ ：水の弾性係数  $2.07 \times 10^8 \text{ kgf/m}^2$

$\rho$ ：水の密度  $101.97 \text{ kgf/s}^2/\text{m}^4$ ， $E$ ：管の弾性係数  $2.1 \times 10^{10} \text{ kgf/m}^2$

ポアソン比  $0.29$  の値を（1）式に代入すると伝播速度  $a$  は

$994.462 \text{ m/s}$  となる。

##### (2) 水撃圧の理論解析

管内の水撃圧の理論解析はオイラーの運動方程式（2）式と連続方程式（3）式とのリニアコンビネーションをとることにより、 $c^+$  式及び  $c^-$  式は（4）式と（5）式になり、特性曲線法にて数値解析を行う。

$$\frac{\partial V}{\partial z} V + \frac{\partial V}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial z} + \frac{f}{2D} V^2 = 0 \quad \text{-----}(2)$$

$$\frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial H}{\partial z} V + \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{\partial z}{\partial z} V = 0 \quad \text{-----}(3)$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} = V \pm a \quad \text{-----}(4)$$

$$\pm \frac{g}{a} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{f}{2D} V |V| \mp \frac{g}{a} V \sin \alpha = 0 \quad \text{-----}(5)$$

ここで、 $v$ ：流速  $\text{m/s}$ ， $H$ ：圧力水頭  $\text{m}$ ， $f$ ：摩擦係数  $0.013$ ， $\alpha$ ：圧力トンネルの

傾斜角， $D$ ：管の直径  $4.0 \text{ m}$ ， $g$ ：重力加速度  $9.8 \text{ m/s}^2$ ， $z$ ： $z$  軸， $t$ ：時間軸

$z$ ：位置水頭

$x-t$  平面における  $c^+$ ， $c^-$  式の特性曲線から  $ds$ ， $dt$ ， $dH$  及び  $dv$  を差分化すると

$$c^+ : ds = s_p - s_L, dv = V_p - V_L, dH = H_p - H_L, \Delta t = \Delta X / (V_L - a)$$

$$c^- : ds = s_p - s_R, dv = V_p - V_R, dH = H_p - H_R, \Delta t = \Delta X / (V_R - a)$$

及び比例関係を（4），（5）式に代入することにより  $V_L$ ， $V_R$ ， $H_L$ ， $H_R$  及び  $V_p$ ， $H_p$  を得ることができる。

上流端境界条件はダムの貯水湖なので水頭  $H$  は時間軸に対して変化しないものとし、

下流端境界条件は直線的に閉塞する弁として解析を行う。

##### (3) 水撃解析モデル

図-1は水撃理論解析のための現地の構造で、ダムの貯水湖の水位がサーチャージ水位

の 75.4 m , 水圧鉄管 ( 延長 122.13 m ) にて弁に接続されているものとする。又、延長 122.13m を 10 のパーツに分け、上流端を  $x=0.0$ 、下流端を  $x=1.0$  無次元化して取り扱った。

#### (4) 水撃解析結果

水撃解析モデルの全てのデータをプログラムにインプットし、解析を行ったが急閉塞と緩閉塞の弁閉塞時間の境界は 0.246 秒であり、図-2, 3は急閉塞 (0.2 秒)、緩閉塞 (20 秒) による水撃圧の時間的变化のグラフである。又、図-4 は閉塞時間に対する最大水撃圧の推移を表したグラフであるが次式 (6) より許容される水撃圧は 82.8 m である。

$$\text{管満水時内圧に対する必要管厚 } t = \frac{pD}{2\sigma_a \eta} + \epsilon \quad \text{---(6)}$$

$t$ : 管厚  $p$ : 許容水圧  $D$ : 内径

$\eta$ : 縦方向継手の効率  $\epsilon$ : 腐食に対する余裕厚  $\sigma_a$ : 許容引張応力

よって図-4 より 20 秒未満での閉塞は危険を伴う可能性があると言える。

### 3 結論

- (1) 最大水撃圧の発生位置は弁の手前であり、急閉塞において最大水撃圧は 399.7m である。
- (2) 緩閉塞において閉塞時間 10 秒で最大水撃圧は 85.1 m, 20 秒では 81.1 m, 100 秒では 78.0 m, 200 秒では 77.6 m となった。以上より弁閉塞時間 20 秒未満ならこの管路では安全と思われる。

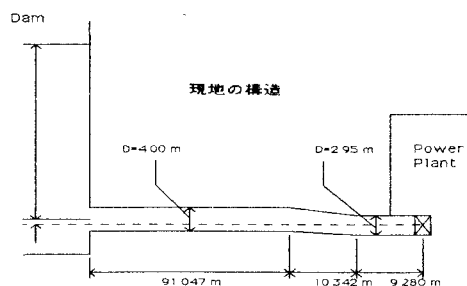


図 - 1

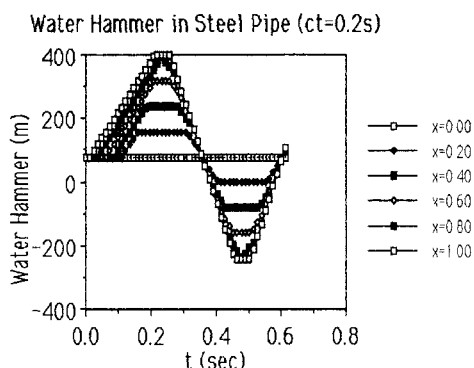


図 - 2

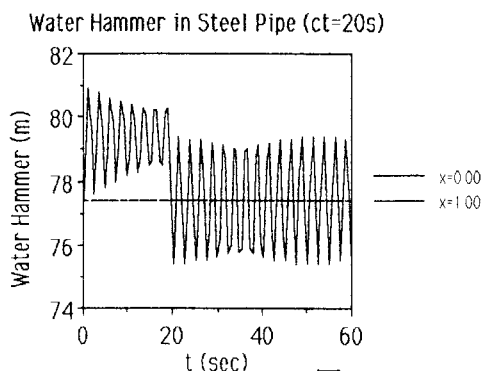


図 - 3

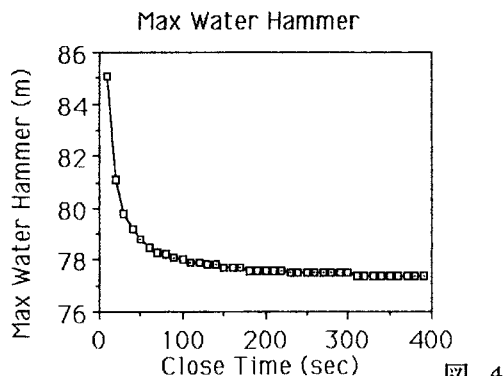


図 - 4

#### 参考文献

彰国社刊 発電工学 日新出版 横山重吉著 水撃入門