

山梨大学 工 正員 萩原 能男
運輸省 正員 ○ 永井 康平

1. まえがき 温水取水口に設置されている浮子は、水撃作用によって圧力と流れの影響を受け、上下運動を行う。筆者は昨年、一昨年の研究で、水撃圧は浮子によって安全となるが、浮子は単純管路に於て主に水撃圧変動の為、水撃圧に比べ振動周期の長いサージタンクの附いた管路に於ては、初期の水撃作用を除いて、サージングによる流速変動の為に、危険な運動をするという結果を得た。本年は図-1の様な周期の短いサージタンクのある管路を利用し、圧力と流速の両方の影響を受ける浮子の運動を実験及び理論的に解析した。

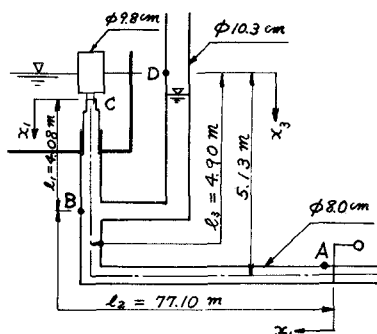


図-1 実験管路略図

2. 解析方法 サージタンクを分岐管と考えると、閉塞弁で生じた大きさ1の水撃圧は図-2の様な経路を伝播する。これより、浮子下C点の水撃圧 H_1 と流速 $V_1(0,t)$ 、別にサージングによる流速 $V_s(0,t)$ を求め、圧力 H_1 と流速 $V_1 + V_s$ を浮子の運動式に与え、両者を加え合せて浮子の運動を求める。

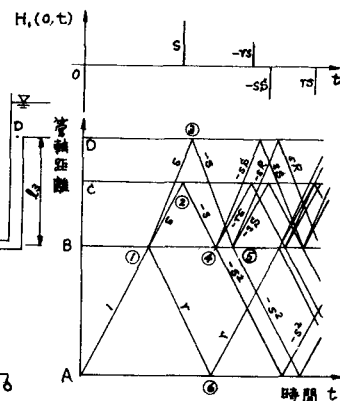


図-2 水撃圧の伝播

3. 計算理論 i) 水撃作用の計算 サージタンクの水面は一定と仮定し、A点で起した水撃波はB点(図-3①)で透過、反射し、C(②), D(③), A(④)に向う。この時、透過係数:Sと反射係数:rは、 A_i : i管路断面積, a_i : 水撃波々速とし、

$$S = \frac{2 A_2/a_2}{A_1/a_1 + A_2/a_2 + A_3/a_3}, \quad r = \frac{A_2/a_2 - A_1/a_1 - A_3/a_3}{A_1/a_1 + A_2/a_2 + A_3/a_3}$$

よって、 $r = S - 1$ で与えられる。水槽②(C), ③(D)では符号を変えて反射し、④(A)ではそのまゝ反射してB点に戻る。この操作を電子計算機で時間を追って繰返し行わせ、C点での H_1 と V_1 を計算した。

ii) サージングの計算 管内摩擦によるサージタンクの初期水位低下(z_0)によって、1,3管路にU字振動が起る。均合の位置からのサージ水面の振幅による浮子下の流速(V_s)は、時間を t 、重力加速度を g 、各管路長を l_i 、径深を R_i 、Manningの粗度係数を n_i ($i=1,3$)、 A_c を流入口断面積とすると

$$V_s = \frac{A_c}{A_i} z_0 e^{-\frac{\pi}{2} t} \left\{ (M_0 N_0 - \frac{\pi}{2}) \cos N_0 t - (N_0 + \frac{\pi}{2} M_0) \sin N_0 t \right\} \quad \dots (1)$$

ここで、 $z_0 = n_1^2 Q_0^2 l_1 / (R_1^4 A_i^2)$, $m = \frac{\pi C}{2} z_0$, $M_0 = \frac{\pi z_0}{4} / \sqrt{1 + (\pi z_0 / 4)^2}$, $N_0 = C \sqrt{1 + (\pi z_0 / 4)^2}$
 たゞし、 Q_0 : 初期流量, $C = \sqrt{g / (l_1 + l_3)}$, $\kappa = g C^2 \{ l_1 n_1^2 (A_3 / A_1) / R_1^{4/3} + l_3 n_3^2 / R_3^{4/3} \}$

iii) 浮子の運動方程式 圧力水頭を H 、浮子の質量を M 、水の単位重量を w 、管路内径を D 、浮子の断面積を A 、浮子の減衰率を γ 、 y を浮子の中立位置からの変位置(下向きを正)とし、 $\kappa^2 = wA/M$, $\gamma = \pi w D^2 / (4gM)$, $\alpha^2 = \kappa^2 - \gamma^2 / 4$, $H_0 = \alpha V_0 / g$ とおくと、浮子の運動方程式は次の様に求まる。

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \gamma \frac{dy}{dt} + \kappa^2 y + \eta g H(0, t) - \eta |V(0, t)| V(0, t) = 0 \quad \dots (2)$$

左辺第4項は圧力の項、第5項は流速の項である。この方程式を解くと、圧力による浮子の運動は、Laplace変換式 ($t \rightarrow s$) で、 $y = -\eta g \overline{H(0, s)} / \{s(\frac{\gamma}{2} + \alpha^2)\}$ となる。²⁾ これに、今、図-3の様な水撃圧 $\overline{H(0, s)} = H_0 (e^{-s(t_0-T)} - e^{-s(t_0+T)})/s$ $\Rightarrow 2H_0 T e^{-s t_0}$ (T: 微小時間) を与えると、結局、次の様に求まる。

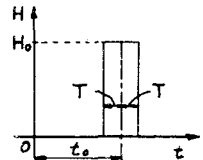


図-3 浮子下の水撃圧

$$y(t) = -\frac{2\eta g H_0 T}{\alpha} e^{-\frac{\gamma}{2}(t-t_0)} \sin \alpha(t-t_0) \quad \dots (3)$$

一方、流速による浮子の運動量は、(2)式の圧力の項を除き $v = \frac{dy}{dt}$ とおいて改めると、

$$dv/dt = \eta |V| V - \kappa^2 y - \gamma v \quad \dots (4)$$

となり、これを浮子の初期沈下: y_0 、初速度: v_0 とし、R.K.B法で積分して次の様に求まる。

$$\left. \begin{aligned} dy_1 &= v_0 dt & dv_1 &= (\eta |V| V - \kappa^2 y_0 - \gamma v_0) dt \\ dy_2 &= (v_0 + \frac{1}{2} dv_1) dt & dv_2 &= \{ \eta |V| V - \kappa^2 (y_0 + \frac{1}{2} dy_1) - \gamma (v_0 + \frac{1}{2} dv_1) \} dt \\ dy_3 &= (v_0 + \frac{1}{2} dv_2) dt & dv_3 &= \{ \eta |V| V - \kappa^2 (y_0 + \frac{1}{2} dy_2) - \gamma (v_0 + \frac{1}{2} dv_2) \} dt \\ dy_4 &= (v_0 + \frac{1}{2} dv_3) dt & dv_4 &= \{ \eta |V| V - \kappa^2 (y_0 + \frac{1}{2} dy_3) - \gamma (v_0 + \frac{1}{2} dv_3) \} dt \\ dy &= (dy_1 + 2dy_2 + 2dy_3 + dy_4)/6 & dp &= (dv_1 + 2dv_2 + 2dv_3 + dv_4)/6 \end{aligned} \right\} \quad \dots (5)$$

このVに i), ii) より求めた $V_1 + V_5$ を与えて、(7)式の圧力による運動に加えた結果を図-4に示した。

表-1 諸数値

管路相度係数 $\eta = 0.01$	浮子重量: M $M = 1.08 \text{ kg}$
初期水撃圧: H_0 $H_0 = 17.4 \text{ m}$	浮子減衰率: γ $\gamma = 5.74 \text{ sec}^{-1}$
流速: a $a_1 = a_2 = a_3 = 1000 \text{ m/s}$	流入口との間隔 $\ell = 3.19 \text{ cm}$
水撃圧減衰率 $C = 0.727 \text{ sec}^{-1}$	浮子直下流入口 断面積: A_c $A_c = 32.9 \text{ cm}^2$
微小時間: T $T = 1/700 \text{ sec}$	浮子固有振動周期 $T_f = 1.07 \text{ sec}$
達過係数: S	$\alpha = \frac{2\pi}{T_f} = 5.89 \text{ sec}^{-1}$
管 1 2 3	
1 -0.3 0.7 0.3	
2 0.3 -0.7 0.3	
3 0.3 0.7 -0.3	

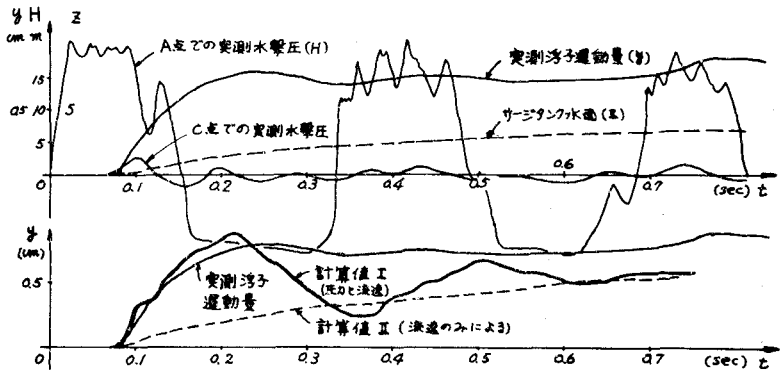


図-4 浮子の振動波形例 ($Q_0 = 0.750 \text{ m/sec}$, $V_0 = 0.149 \text{ m/sec}$)

4. まとめ 図-4の計算曲線より次の様な結論が得られる。図-1の様なワージ周期が比較的短い管路の軽い浮子は、流速のみによる浮子運動²⁾ (図中曲線Ⅱ) と水撃圧のみによる浮子の運動¹⁾の両者を考え、その運動量を加える (図中曲線Ⅰ) のが妥当である。即ち、浮子は圧力と流速の影響を受けて運動することが明らかとなった。浮子の運動の実測値と計算値はかなりよく一致している。

この研究は昭和41年度文部省科学研究費試験研究 (研究代表者: 崎玉大、嶋祐之教授) によって行われた。ここに厚く謝意を表わします。

5. 文献 1) 荻原: 弾性弁による水撃圧, 第20回年次学術講演会講演概要, II-96, 昭和40年5月

2) 荻原、永井、田中: 取水口における浮子の運動, 第21回年次学術講演会講演概要, II-56, 昭和41年5月

3) 石原、本間編: 応用水理学 中Ⅰ, p.194~ 丸善 (1957)