

山梨大学(工) 正員 村 幸雄
 水資源開発公団 正員 副島 健
 日立造船(株) 正員 ○ 巻橋敏秋

1. 緒 言

最近、環境問題が重要視されるにつれ、水温、水質への要請が次第に厳しくなりつゝある。貯水池の有効利用、海洋開発に関連して水中の可撓管により流体を輸送する必要が予想される。

ブイ式表面取水装置は水面にブイを浮かし、その下に設けられる取水口パイプより蛇腹のような導水管をゲートケーシングの前面に設置して取水を行ない、ブイの位置保持は岸より3本のけい留ワイヤーで行なわれるものである。以下に一連の水理実験を実施したので、その概要を報告する。

2. 相 似 則

2.1. 水撃圧について： 模型実験により実機の水撃圧の挙動を解明する場合の相似則は、次のような関係が成立する必要がある。

$$\left. \begin{aligned} (f)_m &= (f)_p, (f_i)_m = (f_i)_p, (f_{II})_m = (f_{II})_p \\ (1/\theta)_m &= (1/\theta)_p, (1/\theta_I)_m = (1/\theta_I)_p, (1/\theta_{II})_m = (1/\theta_{II})_p \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

ここに、 $f = a v_0^2 / 2gH_0$, $1/\theta = 2L/a\tau$, $f_i = a_i v_0^2 / 2gH_0$, $1/\theta_i = 2L_i/a_i\tau$, $f_{II} = a_{II} v_0^2 / 2gH_0$, $1/\theta_{II} = 2L_{II}/a_{II}\tau$, a, a_i, a_{II} はそれぞれ既設取水管、既設空気管、新設導水管の伝播速度、 v_0 は管内流速、 H_0 はゲート前面の水頭、 L, L_i, L_{II} はそれぞれ既設取水管、既設空気管、新設導水管の長さ、 τ は弁閉鎖時間であり、添字 m は模型、添字 p は実機を示す。

2.2. 脈動流および空気吸込現象について： 定常取水状態での脈動流および空気吸込現象についての相似則は、次式のような関係が成立する必要がある。

$$(Re)_m = (Re)_p, (Fr)_m = (Fr)_p, (S)_m = (S)_p \text{----- (2)}$$

ここに、 $Re = v_0 D / \nu$, $Fr = v_0 / \sqrt{gD}$, $S = f D / v_0$, D は取水管の径、 f は脈動流の振動数である。なお、上式の第1式の完全な相似は一般的に困難であるので、本実験では $(Re)_m > 3.0 \times 10^3$ の条件を満足させるようにした。

2.3. ブイのけい留について： 3本けい留法によるブイの移動量が実機のそれの縮率 $1/N$ になるには、次式の関係が成立する必要がある。

$$(EI)_m / (EI)_p = (T_m / T_p) \cdot (1/N^2) \text{----- (3)}$$

ここに、 EI は導水管の曲げ剛性、 T はワイヤーの張力である。

3. 実験結果とその考察

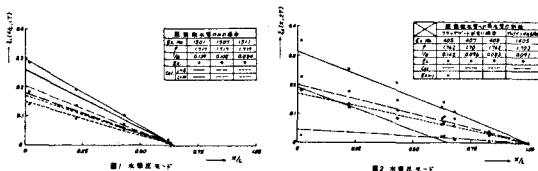
3.1. 水撃圧について： 本実験では、既設取水管に関連する相似則は一致させるようにした為、既設空気管、新設導水管などについては相似則は成立していない。

したがって、理論解析を行ない実験値との比較を試みた。既設取水管のみの場合および既設取水管に導水管が新設された管系の場合の1例を示すと図1, 2となる。解析値は次のような関係式と管系各部の反射率を用いて計算された。

$$\left. \begin{aligned} \zeta_i[x, iT] &= (\zeta_i^2 - 1) \cdot (L - x) / L \\ \zeta_i &= -f(1 - \frac{1}{\theta}) + \sqrt{f^2(1 - \frac{1}{\theta})^2 + 2f\{a_{i-1}(1 - \frac{1}{\theta})\zeta_{i-1} + (1 - a_{i-1})(\zeta_{i-1}^2 - 1)\}} \\ \zeta_m &= \frac{f}{2\theta} + \sqrt{(\frac{f}{2\theta})^2 + 1} \end{aligned} \right\} \text{----- (4)}$$

($i = 1, 2, 3, \dots, m$)

解析値と実験値とはほぼ合っており、最大約10%の誤差となっている。図2中、×印はダウンサージの絶対値



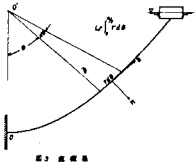
を表わし、 $\bar{}$ はその平均値を表わす。図2に示すように、ゲートケーシング部にフラップゲートを設置すると水撃圧を大幅に緩和させることができる。

3.2. 脈動流について： 既設取水管の終端部での脈動流による実測変動圧は、ゲート 前面水頭の2%以下となっている。(2)式の相似則から実機に対する変動圧の振動数を推定すると、0.2~0.3Hzと極めて低い値であった。

3.3. けい留における運動特性について：

3.3.1 運動特性： 導水管の運動特性は次の基礎方程式（図3参照）

$$\left. \begin{aligned} -\frac{w}{g}\frac{\partial^2 \eta_s}{\partial t^2} + \frac{EA}{r^2}\left(\frac{\partial \eta_n}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 \eta_s}{\partial \theta^2}\right) - \frac{E}{r^2}\left(\frac{\partial^2 \eta_n}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \eta_s}{\partial \theta^2}\right) &= 0 \\ -\frac{w}{g}\frac{\partial^2 \eta_n}{\partial t^2} - \frac{E}{r^4}\left(\frac{\partial^4 \eta_n}{\partial \theta^4} - \frac{\partial^3 \eta_s}{\partial \theta^3}\right) + \frac{EA}{r^2}\left(\eta_n + \frac{\partial \eta_s}{\partial \theta}\right) &= 0 \end{aligned} \right\} \text{----- (5)}$$



を解くことで得られる。 r 一定（導水管のCatenaryが円弧）とし、 η_s, η_n は調和振動を行なうとして、無次元表示 $\bar{\eta}_s = \eta_s / L_1, \bar{\eta}_n = \eta_n / L_1, \bar{r} = r / L_1$ を用いると、一般解は、

$$\left. \begin{aligned} \bar{\eta}_s &= -k_1 B_1 \cos \bar{r}_1 \theta + k_1 B_2 \sin \bar{r}_1 \theta - k_2 B_3 \cos \bar{r}_2 \theta + k_2 B_4 \sin \bar{r}_2 \theta + k_3 B_5 \cos \bar{r}_3 \theta + k_3 B_6 \sin \bar{r}_3 \theta \\ \bar{\eta}_n &= B_1 \cos \bar{r}_1 \theta + B_2 \sin \bar{r}_1 \theta + B_3 \cos \bar{r}_2 \theta + B_4 \sin \bar{r}_2 \theta + B_5 \cos \bar{r}_3 \theta + B_6 \sin \bar{r}_3 \theta \end{aligned} \right\} \text{----- (6)}$$

となる。ただし、 k_1, k_2, k_3 は固有値 $\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3$ によって定まる定数である。また、 $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$ は次の境界条件によって定まる定数である。

$$\left. \begin{aligned} \theta = 0 \text{ の時} \quad \eta_s = \eta_n = 0, \quad \partial \eta_n / \partial \theta = 0 \\ \theta = \frac{\pi}{2} \text{ の時} \quad M = 0 \\ Q \cos \beta - P \sin \beta - (\eta_n \cos \beta + \eta_s \sin \beta) k_1 - \frac{W_H}{g} \left(\frac{\partial^2 \eta_n}{\partial t^2} \cos \beta + \frac{\partial^2 \eta_s}{\partial t^2} \sin \beta \right) &= 0 \\ Q \sin \beta + P \cos \beta + (\eta_s \cos \beta + \eta_n \sin \beta) K - \frac{W_V}{g} \left(\frac{\partial^2 \eta_s}{\partial t^2} \cos \beta - \frac{\partial^2 \eta_n}{\partial t^2} \sin \beta \right) &= 0 \end{aligned} \right\} \text{----- (7)}$$

ここに、 k_1, K はブイに働く水平、垂直のバネ定数、 W_H, W_V はブイの水平、垂直の付加水質量を含めた重量、 M, Q, P は曲げモーメント、剪断力、張力である。一般解(6)式を(7)式に代入すると、振動数方程式が得られ固有値を求めることができる。

ブイにおける上下振動(Heaving)の付加水質量、回転運動(Rolling)の付加慣性モーメントは、

$$T_H = 2\pi \sqrt{(W_B + W) / K \cdot g} \text{ (Heaving)}, \quad T_R = 2\pi \sqrt{(I_y + I') / g \cdot W_B \cdot GM} \text{ (Rolling)} \text{----- (8)}$$

から求められた。上式中、 W_B はブイの重量、 W は付加水質量、 I_y は慣性モーメント、 I' は付加慣性モーメント、 GM は重心とメタセンターとの距離である。

表1はブイおよび導水管の実測固有周期と対数減衰率を示している。同表より、ブイにスクリーン、導水管が取り付けられると、周期が極端に長くなることが分る。また、表中の理論固有周期(1次モード)は(5)式を用いて得られた。

図4はフラップバルブを設けない場合の水撃圧による導水管の挙動を示したものである。同図中、 K_0 はブイにバネを付加していない場合、 K_I, K_{II} はバネを付加した場合であり、 K_I は K_{II} よりもバネ定数が小さく、 A は B よりも張力が小さい場合である。 K_0 と K_I, K_{II} との差は明らかに見られ、バネなしブイの導水管の方が動きは若干大きい。

3.3.2. 3本けい留によるブイの移動： 3本のけい留索の張力 T_1, T_2, T_3 とブイの移動量との関係を解明する為に、 T_1 を一定とし、 T_2, T_3 に張力差を与えるけい留法の実験を実施した。図5はその結果の1例を示している。本実験結果から、 T_2 と T_3 の張力差によってのみブイの横移動量が定まる。(3)式の相似則より実機に換算すると、張力差 150^{kg} でブイの横移動量は 15.4^{m} となる。

4. 結 言

一連の水理実験により、ブイ式表面取水装置の水理学的特性およびブイけい留に関連する運動学的特性などが明らかにされた。

表1 構造の動特性

取水ブイ構造の実測固有周期	基本変位型の動特性	
Heaving	Rolling	Pitching
ブイ単独 0.52 sec	0.40 sec	0.42 sec
スクリーン付 0.60 sec	0.62 sec	0.71 sec
導水管付 1.30 sec	1.34 sec	0.93 sec
	対数減衰率	対数減衰率
	0.18	0.15
	(0.07)	

