

東北大学大学院 学生員 ○ 田中 重人
東北大学工学部 正 員 沢本 正樹

1. はじめに

著者らは、図-1に示すようなケーソンに組み込まれた1組の水弁装置を持つ波力発電ケーソン提案し、その可能性や、水弁の特性¹⁾²⁾、また実験的に整流効果、変換効率等について報告した。しかし、これらの検討においては、1)準静的取扱をする。2)各パーツを独立のものとして扱う。3)空気の圧縮性の効果を見捨てる。などの仮定を含んでいる。ここでは上記3項目を考慮にいれて外力波と波力発電システム内の水、空気の運動を一連のものとする解析手法を提案する。

2. 各部分の数式化

2.1 波力空気室と空気槽の水面の運動

波力空気室の水面の運動は、SPRING-MAS-DASHPOT SYSTEMでモデル化する。(図-2)

$$\rho s L h (1 + C_H) \frac{d^2 \eta}{dt^2} + \rho s \nu C_r \frac{L}{b} \frac{d \eta}{dt} + \rho s g L \eta = F_P - \rho g H_W L$$

式中の C_H は付加質量係数で、流体の加速度を η で代表させた補正とケーソン前面での付加質量とを考慮すると、 $C_H = L/2b - 1/2 + \pi b/4h$ となる。系を自由振動させることにより C_H と C_r (減衰項の係数)は実験的に求めることができるが、その結果によると、 C_H は流体の加速度を η で代表させた補正だけで十分のようである($C_H = L/2b - 1/2$)。外力項の F_P は、ポテンシャル理論による外力圧で、入射波高 H_I 、反射率 K_R のとき、

$$F_P = \rho s \frac{H_I}{2} \frac{g}{k} \frac{\sinh kb}{\cosh kh} (1 + K_R) \cos \sigma t$$

となる。空気槽の水面の運動については波力空気室と同様に考える。(図-3)但し外力項は空気槽の変動圧のみとなる。例えば、空気槽Aについては、

$$C_A W_A \frac{d^2 \eta_A}{dt^2} + \rho s \nu C_{rA} B_A \frac{d \eta_A}{dt} + \rho s g (\eta_A A_{A1} + \eta_A \frac{A_{A1}}{A_{A0}} A_{A0}) = \rho g H_A A_{A1}$$

となる。空気槽Bについては添え字AをBに変えればよい。

2.2 波力空気室と空気槽の空気の運動(図-2、図-4)ここでは、質量保存、気体の状態方程式、熱量について考える。気室の体積と水面の変化の関係が、 $-A_W \eta = V_W$ であるから質量の保存則は、

$$\frac{d}{dt} (\rho_0 + \rho_W) (V_{W0} + V_W) = -M_A + M_B$$

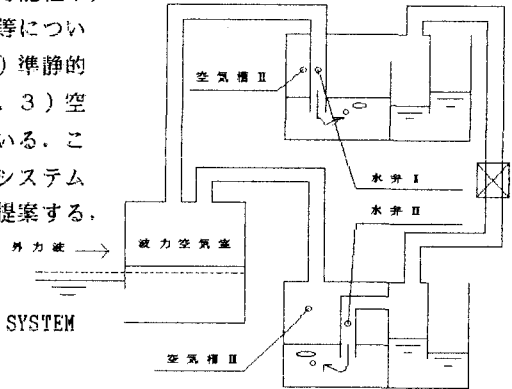


図-1

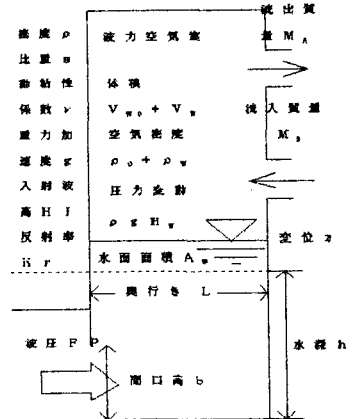


図-2

一方気体の状態方程式は、

$$\rho g (H_0 + H_W) = R (T_0 + T_W) (\rho_0 + \rho_W)$$

熱量に関しては、

$$C_u \frac{d}{dt} (\rho_0 + \rho_W) (V_{W0} + V_W) (T_0 + T_W) \\ = -\rho g (H_0 + H_W) \frac{dV_W}{dt} - M_A (T_0 + T_W) C_P \\ + M_B (T_0 + T_W)$$

となる。これらの方程式を $H_0 \gg H_W$, $T_0 \gg T_W$, $\rho_0 \gg \rho_W$, M_A, M_B は微量と仮定すると、変動量については線形化され次の3式を得る。

$$\rho_0 \frac{dV_W}{dt} + V_{W0} \frac{d\rho_W}{dt} = -M_A + M_B \\ \rho g H_W = R (T_0 \rho_W + T_W \rho_0) \\ C_u \rho_0 V_{W0} T_0 \frac{d}{dt} \left(1 + \frac{T_W}{T_0} + \frac{V_W}{V_{W0}} + \frac{\rho_W}{\rho_0} \right) \\ = -\rho g H_W \frac{dV_W}{dt} - T_0 C_P (M_A - M_B)$$

空気槽の空気の運動にも同じ考え方が適用できよう。

その場合は添え字をAまたはBにかえればよい。

2. 3 水弁 (整流弁) (図-5 参)

文献¹⁾より水弁Iをはさむ圧力差は、 u_R を水弁管内の空気の質量流速 $f u$ を損失関数として、

$H_W - H_R > H_{UR}$ のとき

$$H_W - H_R = H_{UR} + d_A f u (u_R \sqrt{2 g d_A})$$

$H_W - H_R < H_{UR}$ のとき $M_A = 0$

水弁IIでは、添え字をBに変える。

2. 4 タービンを通る流れ

$H_A - H_B > 0$ のとき

$$M_T = \rho_0 C_D \varepsilon A_n \sqrt{2 g (H_A - H_B) \rho / \rho_0},$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{3}{4 \kappa} \frac{H_A - H_B}{H_B}, \kappa = \text{比熱比} (= 1.043)$$

ここに M_T はタービンを通る質量流速, C_D は流量係数 A_n はノズル断面積である。

各パートのモデル化は以上であるが、やはりシステム全体として取り扱うとかなり複雑となる。未知数の数は

30個であり、関係式も30本得られるので、解は見つかるはずである。ただし水弁やタービンでは条件付きとなるため、単純な線形MATRIXでは解くことは難しく、数値積分等が必要である。

参考文献

1) 沢本正樹・首藤伸夫・渡辺国也・新島洋明：水弁を通過する空気流のエネルギー損失，土木学会論文集，第375号/II-6，329-332，1986。

2) 田中重人・沢本正樹：水弁を用いた波力発電ケーソンの基礎的研究，東北支部技術研究発表会講演概要，146-147，1987。

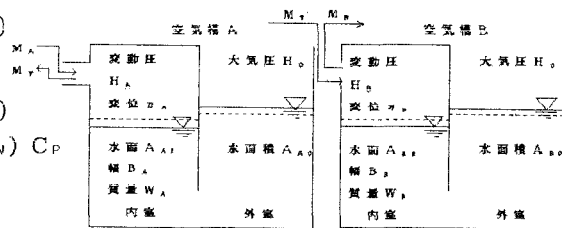


図-3

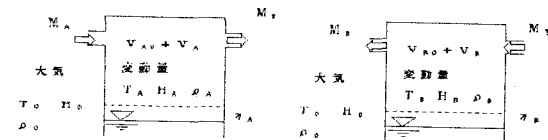


図-4

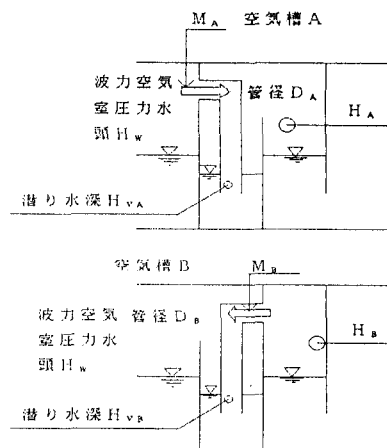


図-5