

浮体の揺動を利用するエネルギー変換法

山口大学 学○椎木健介, 正 羽田野袈裟義, 学 Pallav Koirala

1. はじめに

本研究では, 潮流や河川流からエネルギーを獲得する目的で, 下部に回転する抵抗板を有する浮体の揺動を利用したエネルギー変換装置¹⁾の力学を検討する. 揺動体のピッチング運動に加え, 抵抗板の回転に必要なトルクと仕事率を評価した.

2. 水面上揺動浮体の原理とその利用法

流れのある場に置かれた浮体の下部に設置した抵抗板を一定速度で回転すると, 流体抵抗値が変動する. これにより浮体揺動を生じさせ, この揺動のエネルギーを利用する. 例えば, 浮体に遊水室を設け, その中で相対的な水面変動を利用できる.

3. 力学モデル

3-1. ピッチング運動の計算式

図1のように, 浮体の傾斜角を θ とするとピッチングの運動方程式は次式で表される.

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + \rho g I_y \theta = M = \left(n \cdot \frac{1}{2} \rho C_D u^2 l^2 \cdot \frac{b'}{m} \cos \omega t \right) \quad \cdots (1)$$

ここで, ρ は水の密度, σ は浮体の密度, I はピッチング運動の慣性モーメント, I_y は浮体の喫水面の断面2次モーメント, C_D は抵抗係数, u は流速, l は抵抗板の長さ, a は浮体の長さ, b' は浮体の幅, n は抵抗板の数, b'/m は一枚の抵抗板の幅を示す. 左辺の第一項は慣性力, 第二項は復元力, 右辺は流体抵抗によるモーメントを示す. 初期条件は, $t=0$ で抵抗板が流れに沿う方向にあるとして $\theta=0$ とする. また, 浮体は初期に静止すると考え, $d\theta/dt=0$ とおく.

3-2. 抵抗板の回転に要するトルクと仕事率

潮流の流速を u , 抵抗板の周速分布を $v_r = r\omega$, 回転角を $\alpha = \omega t$ とおく. 周速の相対値 ΔV_r は, 図2において, 式(2)で表す.

$$\Delta V_r = u \cos \alpha + r\omega \quad ; \text{第1象限} \quad \cdots (2a)$$

$$\Delta V_r = u \cos \alpha - r\omega \quad ; \text{第3象限} \quad \cdots (2b)$$

ここで, r は抵抗板の中心からの距離, ω は $d\theta/dt$ を示す. 式(2)から分かるように, ΔV_r は時間 t と半径 r により変化し, また正負の値をとる. $\Delta V_r > 0$ では, 抵抗板は流れに逆らって仕事をする. 一方, $\Delta V_r < 0$ では抵抗板は流れの力を受けて回転する.

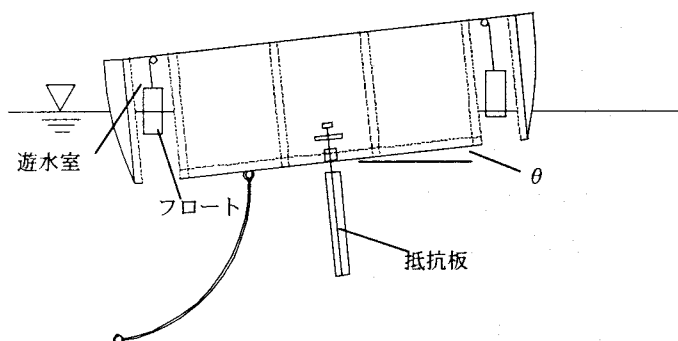


図1. 揺動浮体の概略図

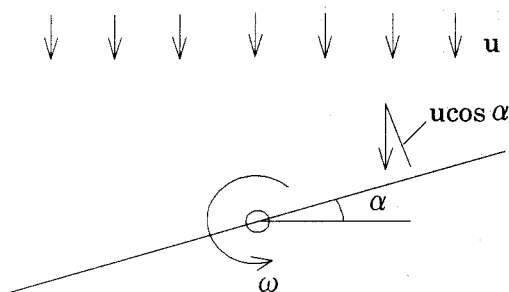
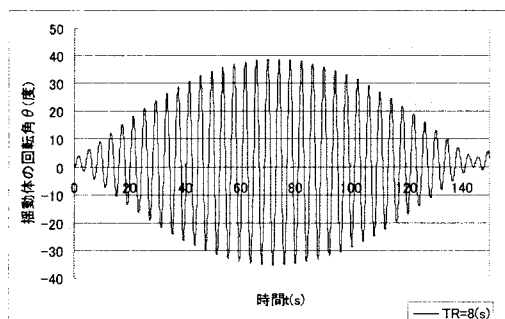


図2. 抵抗板が受ける流体力

表1. 浮体諸元と流速

関係諸量		値
抵抗係数	C_D	1.0
水の密度	$\rho(t/m^3)$	1.0
浮体の密度	$s(t/m^3)$	0.7
流速	$u(m/s)$	2.0
浮体の長さ	$a(m)$	10.0
浮体の高さ	$c(m)$	6.0
抵抗板の長さ	$l(m)$	5.0
浮体の幅	$b'(m)$	7.0
抵抗板の数	$n(\text{個})$	6.0
浮体の固有周期	$T_v(s)$	4.0

図3. T_R が8秒の時の浮体傾斜角 θ

即ち負の仕事をする。 $\angle V_t = 0$ の位置を $r = R_1$ とする。 $R_1 > R$ の場合、全域で $\angle V_t > 0$ である。

抵抗板が第 1 象限、第 3 象限にあるときの仕事率を示しておく。

(i) $R < R_1$ のとき

$$P = \frac{2}{3} \rho C_D l \omega u \cos \alpha \cdot \omega R^3 \quad \cdots (3)$$

(ii) $R > R_1$ のとき

$$P = \frac{1}{2} \rho C_D l \omega \left(u^2 \cos^2 \alpha \cdot R^2 + \frac{1}{2} \omega^2 R^4 \right) - \frac{1}{2} \rho C_D l \omega \left(u^2 \cos^2 \alpha \cdot R_1^2 - \frac{4}{3} u \cos \alpha \cdot \omega R_1^3 + \frac{1}{2} \omega^2 R_1^4 \right) \quad \cdots (4)$$

$R = R_1$ となる時刻を t_1 とおく。ゆえに $t = 0 \sim t_1$ では、式(3)を用い、 $t = t_1 \sim \pi/2\omega$ では式(4)を用いる。また抵抗板が第 2, 4 象限にあるときは、以上と同等の計算を行う。回転に必要なトルク M は、 $M = P/\omega$ の関係から即座に求まる。

4. 計算結果

ピッチング計算は、表 1 に示す浮体諸元と流速を固定し、抵抗板の回転周期 T_R を 4, 6, 8, 12, 及び 16 秒と変化させて行った。浮体の回転角 θ の時系列を図 3, 図 4, 図 5 に示す。 T_R が揺動の固有周期 T_v の 2 倍のとき共振が発生する。表 1 より $T_v = 4$ 秒であり、8 秒で共振が起こる。図 3 は共振を示した図であり、ほぼ対称的なピッチングを行い、最大回転角は約 40 度である。それ以外の回転周期では θ の値がかなり小さな値となっている。

抵抗板回転の仕事率とトルク、表 2 に示す条件で計算した。図 6 より、抵抗板が潮流に対し直角な時 ($t=0$ (s)) に仕事率とトルクは最大となり、平行な時 ($t=2.1$ (s)) に最小となった。仕事率とトルクの最大値は約 0.06 (kN・m/s) と約 0.08 (kN・m) であった。

5. 結語

以上、回転抵抗板を有する浮体の揺動について水理学的検討を行なった。今後、エネルギー変換装置と組みあわせた検討を行うと共に、模型実験による検証を行う予定である。

謝辞：本研究では、日本大学学術フロンティア推進事業のご支援を賜った。記して謝意を申し上げます。

参考文献：1) 特開 2003-97408, 2003.

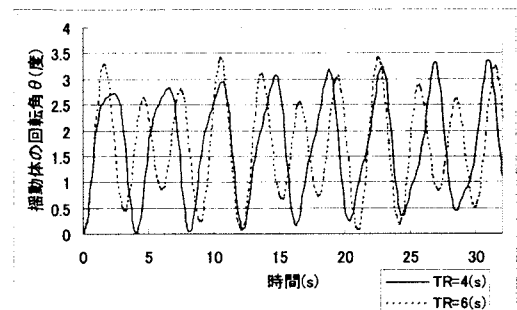


図 4. T_R が 4, 6 秒の時の浮体傾斜角 θ

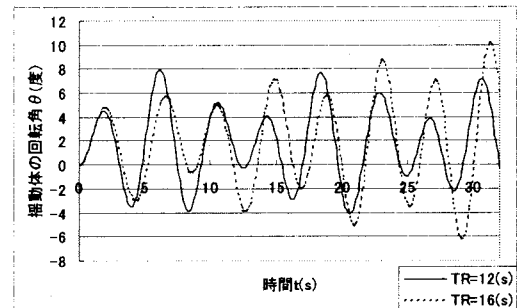


図 5. T_R が 12, 16 秒の時の浮体傾斜角 θ

表 2. 抵抗板諸元と流速

関係諸量	値
R (m)	0.25
l (m)	5
u (m/s)	2
ρ (t/m ³)	1
C_D	1
σ (t/m ³)	0.7
c (m)	6
ω_v (rad/s)	1.528304
T_v (s)	4.111213
T_{RR} (s)	8.222427
ω_R (rad/s)	0.764152

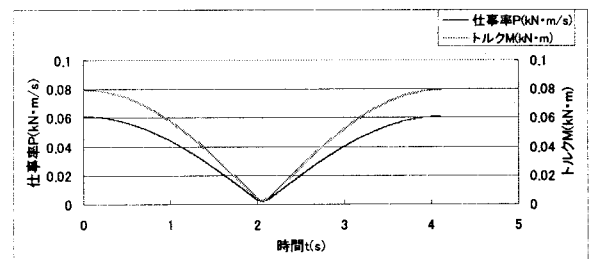


図 6. 仕事率とトルクの時系列