

# 自動浮沈式いけすの開発

木 村 晴 保\*

## 1. ま え が き

わが国における海面養殖業のうち、生産施設としていけすが使われる業種は魚類養殖が主である。魚類養殖の主対象魚類は、はまちで、その生産量は 46 年度まで伸びが大きかったが、臨海地域における工場の進出拡張と都市の発展などによる外部からの漁場の汚染、養殖経営規模の拡大に伴う漁場面積の相対的狭隘と密殖などによる自家汚染等のために、また 47 年度には瀬戸内海を中心に赤潮の被害が続き、さらに 48 年度には PCB 汚染による需要の減退も響いて、生産量は 8 万トンで頭打となっている。この打開策として、養殖漁場は水質汚染が少なく、かつ漁場面積の拡大が容易である沖合へと進出する傾向がみられる。

沖合化に伴う最大の阻害要因は、台風時の波浪によるいけすの破損で、その対策としては、潜堤や浮消波堤等による波浪自体の制御、湾内や岬の蔭等の静穏海域への一時的退避、いけす自体の耐波強度の向上、いけすの沈設等が試みられている。しかし、これらには次のような問題がある。

たとえば、水深 10 m 以深の海域の波浪を潜堤で制御するにはばう大な築堤経費が必要であり、また、砂浜海域に潜堤を築造するような場合には、その背面に土砂が堆積し、背後漁場の水深を浅くする。浮消波堤は潜堤に比べて水深のより深い海域での波浪を制御するのに適している。けれども、浮体の規模が大きくなるため、それを係留維持することは、経済的にも技術的にも容易なことではない。湾内等の静穏海域への一時的退避は、いけすを移動させるのに多大の労力と時間がかかるばかりでなく、移動に伴う飼育生物への影響や退避場所の面積にも制限される。いけす自体の強度向上は技術的には可能であるけれども、それに伴う経費の増大や、飼育生物の耐波性に問題が残る。いけすの沈設は、波の運動エネルギーが海面近くに集中していて、海底に向かうにつれて急激に減勢することから、いけすの波浪防災上

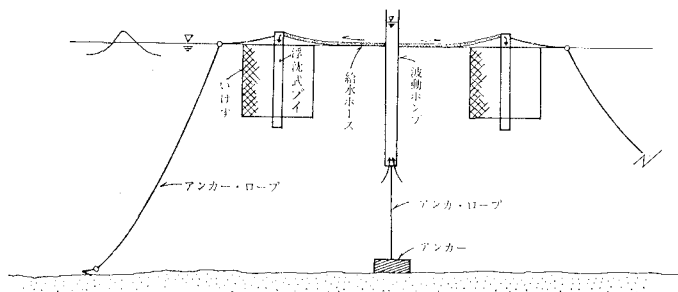
すぐれた方法であるが、養殖作業や管理の点で不都合を生ずる。

浮沈式いけすは、いけす自体を、海面が穏やかな平常時には海面近くに浮揚しておき、台風等で海がしけている間は、波の破壊力がおよばない深さにまで一時的に沈めていけすを波浪から保護するものである。湾内等の静穏海域への一時退避はいけすの水平移動退避であり、これに対して浮沈式いけすは垂直移動退避である。そのため、浮沈式いけすは前者のものに比べていけすの移動距離が非常に短くてよく、かつ退避場所の確保も必要としないけれど、新たに浮沈式施設が必要となる。それゆえ、この浮沈施設が簡易に作製でき、その上操作が簡単に行い得れば、いけす養殖の沖合化は非常に容易なものとなる。

自動浮沈式いけすは、これらの条件を考慮して開発した浮沈式施設である。

## 2. 自動浮沈式いけすの構成

自動浮沈式いけすの基本構成は図—1に示すように波動ポンプ、浮沈式ブイ、いけす、給水ホース、アンカー・ロープおよびアンカーからなる。波動ポンプは円筒内水塊の振動特性を応用したもので、波のエネルギーをもって海水を浮沈式ブイに給水するためのポンプである。浮沈式ブイは、海面が穏やかな平常時にはいけすを海面近くに浮揚しておき、台風等で海面がしけている間は波動ポンプから給水される海水でもって波の破壊力がおよばない深さにまで一時的に沈め波浪災害からいけすを保護し、天候が回復した後は再び元の状態にまで上浮浮揚せ



図—1

\* 正会員 農博 農林省農業土木試験場水工部水産土木

しめる機能を有するブイである。

### 3. 波動ポンプ

#### (1) 基本原理

波のエネルギーでもって海水を浮沈式ブイに給水するためのポンプで、その原理は円筒内水塊の振動特性を応用したものである。すなわち、両端開放の円筒を図-2のように水面に垂直に固定すると円筒内水塊は一種の振動系をなし、その固有周期  $T_0$  は水面下に存在する円筒の長さ  $l$  でほぼ決まり、 $T_0 = 2\pi\sqrt{l/g}$  で近似できる。そしてこの円筒下端面に固有周期と同一周期の波力が作用すると、円筒内水塊の振動振幅は作用した波力の水頭振幅の10倍以上にもなり得ることがある<sup>1)</sup>。このことは水深が50mで、波高1m、周期10secの波が存在する海域に  $l=25$  mの円筒を鉛直に固定すると円筒内水塊はその振動振幅がほぼ4mにもなり、円筒内水面の水位は最高時には平均海面よりも2mも高くなる。ここでも、円筒上端の高さを平均海面上1.5mとしておけば、水塊の一部は上端から越流する。この越流水をホース等で導けば波頂高(0.5m)よりも十分に高い所へ給水することが可能となる。

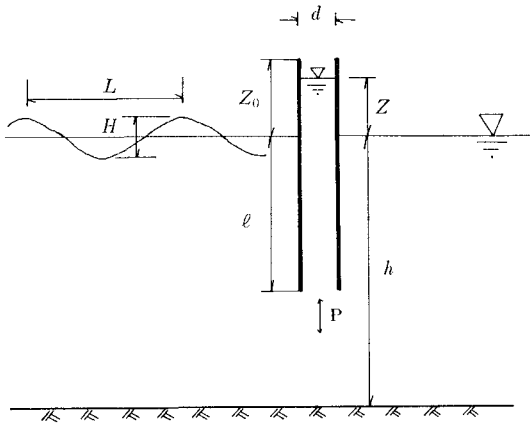


図-2

#### (2) 実用への展開

波動ポンプを浮沈式いけすへの給水用ポンプとして利用するに当たっては前もって次の2点を明確にしておく必要がある。

##### a) 構造と設置方法

図-3は波動ポンプを浮沈式いけすへの給水用ポンプとして利用する場合のポンプの構造と設置方法を模式的に示したもので、特に考慮した点は

① 浮力を大きく持たせることによりアンカー・ロープに大きなプレテンションを与えて波動ポンプ本体の上下運動を少なく、かつ波浪による抗力をできるだけ小さくするように、浮体5をできるだけ広い範囲に持たせた。

② 揚程をできるだけ高くするために、円筒下端での構造をベルマウス状とした。

③ 給水量を安定にするため、貯留槽4を設けた。

上記①はポンプの揚程、揚水量の設計ならびに浮設を簡単にするけれども、潮汐等で平均海面が大きく変動するような海域では揚程、揚水量が変動し、その結果浮沈式ブイへの給水に支障をきたす恐れがあるので注意する必要がある。このような場合にはポンプ本体の固有周期を波の周期よりも十分に長くする構造とすべきで、たとえばポンプの重量を大きくし水位変化による浮力の増減を小さくすることなどが考えられる。

##### b) 揚程と揚水量

###### ・基本式

揚程と揚水量は相互に関連し、またこれらはポンプの細部構造、設置方法、設置海域での波の特性等にも関連するため厳密に求めることは難しい。ここでは次の仮定の下で基本式を得た。

① ポンプは波浪によって上下に動揺しない。

② ポンプ下端面に働く波の変動水圧  $p$  は円筒断面内では一様とみなす。

③ 円筒内水塊の水面は水平で、かつその水位は越流端の高さ ( $Z_0$ ) 以上には上昇しない。

これらの仮定の下では、円筒内水塊の運動は次式<sup>2)</sup>で表示できよう。

$\zeta \leq \zeta_0$  のとき

$$\frac{d}{d\tau} \{ (1 + \zeta) \dot{\zeta} \} + 2 \frac{m}{n} (1 + \zeta) \ddot{\zeta} + \frac{1}{2} f |\dot{\zeta}| \dot{\zeta} + \zeta = P \quad (1)$$

$\zeta > \zeta_0$  のとき

$$\frac{d}{d\tau} \{ (1 + \zeta_0) \dot{\zeta} \} + 2 \frac{m}{n} (1 + \zeta_0) \ddot{\zeta} + \frac{1}{2} f |\dot{\zeta}| \dot{\zeta} + \zeta_0 = P \quad (2)$$

ただし、

$$\zeta = Z/l; \quad \zeta_0 = Z_0/l; \quad \dot{\zeta} = d\zeta/d\tau$$

$$m = 2\mu/(\rho \epsilon d); \quad n = \sqrt{g/l}; \quad \tau = nt$$

$$P = p/(\rho g l) \quad (\text{波によるポンプ下端面での変動水圧水頭})$$

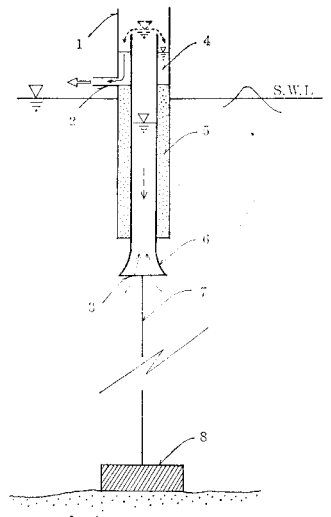


図-3

$g$ : 重力加速度;  $\mu$ : 海水の粘性係数

$\varepsilon$ : 円筒内側面の境界層の厚さ

$f$ : 円筒下端での流出損失係数

揚程  $Z_0$  は静水面から越流端までの高さで与えられ

$$Z_0 = l\zeta_0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。揚水量  $Q$  は式 (2) から得られる  $\zeta$  を越流時間にわたって積分すればよく、次式で得られる。

$$Q = \frac{Al}{t} \int \zeta d\tau \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし

$A$ : 円筒の断面積 ( $\pi/4 \cdot d^2$ )

不規則波によるポンプ下端面での圧力変動は次式で近似できる<sup>3), 4)</sup>。

$$P(t) = \rho g \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cdot G_n \cdot \cos(2\pi f_n t + \varepsilon_n)] \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで

$P(t)$ : 圧力変動

$a_n$ : 成分波の振幅

$f_n$ : 成分波の振動数

$\varepsilon_n$ : 成分波の位相で ( $0.2\pi$ ) の間にランダムに分布する

$$G_n = \frac{\cosh k_n(h-l)}{\cosh k_n h}$$

( $\because k_n = 2\pi/L_n$   $L_n$ : 成分波の波長,  $h$ : 水深)

振幅  $a_n$  と周波数スペクトル  $E(f_n)$  とは次の関係が成り立ち

$$\frac{1}{2} a_n^2 = E(f_n) d f_n \quad \dots\dots\dots (6)$$

$E(f_n)$  は波の発達過程, 海域等で異なるが, 有限な吹送距離に対する風波の場合には次式で表示できる。

$$\frac{E(f_n)}{\bar{H}^2 \cdot \bar{T}} = 0.430 \left( \frac{1}{F_n} \right)^5 \exp \left[ -0.675 \left( \frac{1}{F_n} \right)^4 \right] \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで

$\bar{H}$ : 平均波高

$\bar{T}$ : 平均波高の周期

$F_n = \bar{T} f_n$

一方振動数  $f_n$  は次式の分布型をなす。

$$F_n = \bar{T} f_n = \left\{ -\frac{0.675}{\ln P(F_n)} \right\}^{1/4} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで

$P(F_n)$ : 波の周期の超過確率

#### 4. 自動浮沈式ブイ

##### (1) 浮沈の原理

このブイの基本構成は図-4に示すように両端開放の円筒1とその内部に嵌装されたブイ2から成り, ブイ2が上部から給水される海水量によって沈降ないし浮上す

るものである。すなわち, 海水が上部から給水されて, ブイ2の上部に滞水されるとその一部はブイ2と円筒1の側面の間隙部を流下する。ゆえに給水量が流下量を上まわれば滞水量は増加し, その重量でもってブイ2は沈降し, 逆に下まわれば浮上する。

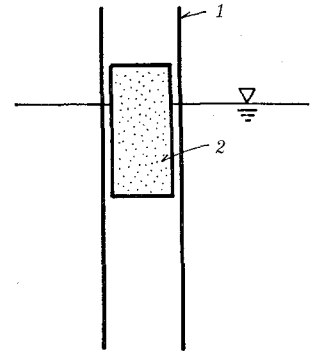


図-4

##### (2) 実用への展開

波動ポンプから給水される海水でもって自動浮沈式ブイによりいけすを浮沈させることを目的とする。

##### a) 構造と機能

円筒1を図-5(A)の構造とし, 次の機能をもたせる。 $c$  は円筒1自体を浮揚せしめるため浮体で, このように広い範囲にわたって浮力を持たせて水面に集中させなかったのは, 円筒1自体はしけの時にも沈降しないので, 波による抗力をできるだけ小さくするためである。この浮体  $c$  と沈子  $e$  で円筒1を海面上所定の状態に浮上バランスさせる。 $a$  は海水取入口で, 波により海面が上昇したとき, 円筒内部へ海水を取り入れる。 $a'$  は波動ポンプから給水される海水の取入口,  $b$  は浮体で, 内部水面が  $a$  の位置まで達したとき円筒を浮揚させ,  $a$  から海水を流入し易くするとともに, 円筒1とブイ2との相対運動をも小さくして流入した海水を吐出しにくくする。 $d$  は流入した海水の排出孔でブイ2の上端がこれよりも下がると波動ポンプや  $a$  から流入した海水は  $d$  から排出されることになり, ブイ2はこれよりも下に沈降しなくなる。

ブイ2は図-5(B)の構造とし次の機能を持たせ

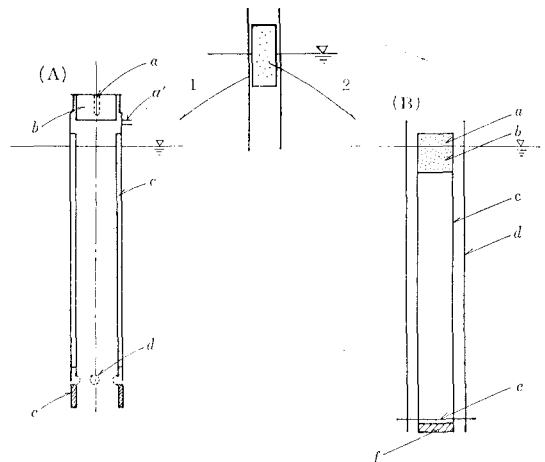


図-5

た。 $a, b$  は同一の浮体で、そのうち  $a$  はブイ 2 が沈降したのち再び浮上する際に浮力として働く、 $b$  は静穏時ブイ 2 といけすを所定の位置に浮揚維持せしめるものである。 $c, d$  は円筒体で  $d$  にいけすを取り付けることにより、いけすを海面近くに浮揚することができる。また、このようにしておけば、海面の動揺によって円筒  $c$  の外側面と円筒  $d$  の内側面の各々は円筒 1  $c$  の内側面と外側面に接触して相対運動をするため、これらの側面には生物が付着しにくくなる。 $e$  は  $c$  と  $d$  を連結するもので、 $f$  はブイ 2 を転倒させないための沈子である。

#### b) 浮沈に必要な給水量

浮沈式ブイを作動するには、図-4 に示すブイ 2 の上部に滞水された海水がブイ 2 と円筒 1 との間隙を流下する流量よりも多くの海水量を波動ポンプで給水する必要がある。

流量  $Q_0$  は間隙間の流れを poiseuille の流れで近似すると次式で与えられる。

$$Q_0 = \frac{1}{6} \frac{\alpha}{\mu} \frac{\Delta \gamma^3}{\gamma_0} A \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここで

$\alpha$ : 圧力勾配

$\mu$ : 海水の粘性係数 ( $\approx 0.01$  ポアーズ)

$A = \pi \gamma_0^2$  (円筒断面積)  $\gamma_0 = (\gamma_1 + \gamma_2)/2$

$\Delta \gamma = \gamma_2 - \gamma_1$

$\gamma_1$ : ブイ 2 の外半径

$\gamma_2$ : 円筒 1 の内半径

ブイ 2 の浮上速度  $u_v$  は次式を得る。

$$u_v = \frac{Q_0}{A} = \frac{1}{6} \frac{\alpha}{\mu} \frac{\Delta \gamma^3}{\gamma_0} \quad \dots\dots\dots (10)$$

#### c) ブイの係留方法と安定条件

係留の方法はブイといけすの組み合わせの仕方によって異なるけれども、基本的にはブイが所定の位置に係留され、かつ浮沈の機能が発揮できればよい。

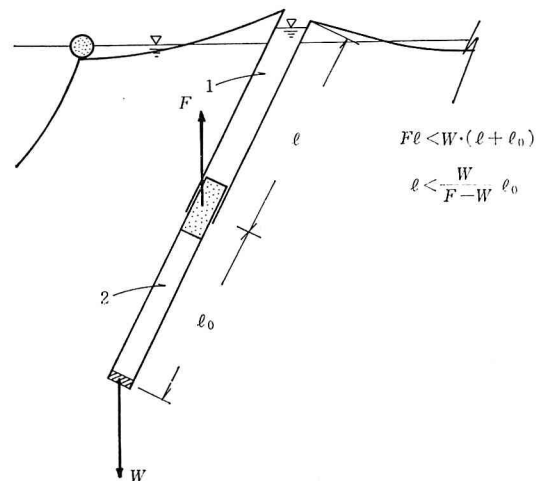


図-6

いま、ブイの上端を3点ないし4点で係留する場合について考えてみると、ブイが沈下した状態は図-6のようになる。ただしここでは、 $F$  は浮上の際に必要な余剰浮力  $F_R$  と沈下した際にブイが転倒しないための沈子  $W$  とを受け持つための浮力で、図-5 (B) の浮子  $a, b$  の一部である。その他の部材やいけすは浮子  $b$  のうち、上記以外の浮力でもって転倒に対して安定な条件に浮設されているものとする。この場合、ブイが転倒しないための  $F, F_R, W$  の関係を求めると

$$\left. \begin{aligned} F\ell &< W(\ell + \ell_0) \\ F &= F_R + W \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

で、ここで  $F_R = W$  とすると

$$\ell < \ell_0 \quad \dots\dots\dots (12)$$

を得る。

### 5. 模型実験

自動浮沈式いけすの模型規模

波動ポンプ: 直径×長さ 50 mm × 1 200 mm

浮沈式ブイ: 直径×長さ 100 × 1 200 (図-7)

いけす: 直径×長さ 800 × 800 (図-7)

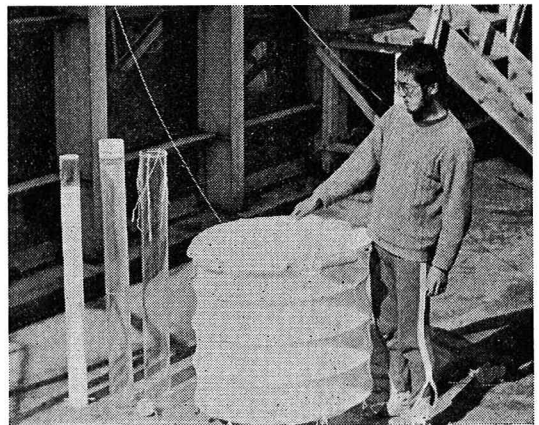
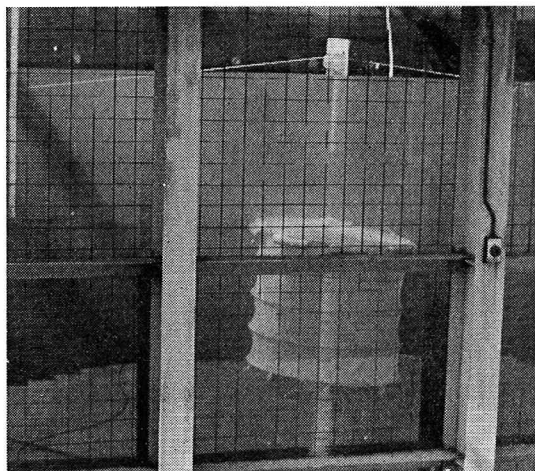


図-7



図-8

を試作し、二次元規則波造波水槽（長さ×幅×高さ：30 m×1.5 m×3.0 m）を使用して、その浮沈の機能を実験で確かめた。図—8 は静穏時のいけすの浮設状態で、水槽の水深は 2.45 m である。図—9 は周期 2.0 sec、波高 0.18 m の波の下で沈下した状態を示す。



図—9

## 6. あとがき

本研究は昭和 47 年度から始め、現在の段階に至った。昭和 52 年度には前記模型規模の 10 倍程度のものを試作し、現場実験を試みる予定であるが、それに先だって解決しておかねばならない問題に次のものがある。

- ① 不規則波に対しての波動ポンプの揚程・揚水量の定量化
- ② 浮沈に必要な給水量の検討
- ③ 流れや潮汐等による平均海面変動と浮沈の関係
- ④ 波動ポンプ、浮沈式いけすに働く外力と係留方法
- ⑤ 施設や飼育生物の耐波性などから決まる沈下開始時の波、沈下量、沈下・上昇速度の決定
- ⑥ 浮設海域での海象（波浪、流れ、潮汐など）と底質調査
- ⑦ 施設に付着する生物とその重量
- ⑧ 給餌方法と網替えの問題

これらの問題解決には水産庁、水試その他関係専門家の援助・協力が必要であり、宜しくご指導ご教授をお願い致します。

この研究開発は元農土試水産土木出口利祐部長、農土試水工部吉牟田長生室長らの助言とご指導の下で進めたものであり、また、49 年にはサンケイ新聞からサンケイ海洋科学奨励金を頂き、現在に至った。ここにこれらのかたがたに深くお礼を申し上げたい。

## 参 考 文 献

- 1) 木村晴保：水面に固定された管内の水塊の振動特性，農土場報，第 12 号，p. 125，1974.
- 2) 1) の pp. 143~154.
- 3) 本間 仁：海岸防災，共立出版，p. 77，1973.
- 4) 堀川清司：海岸工学，東京大学出版，pp. 48~56，1973.