

養殖施設の流れ環境に及ぼす影響

水産工学研究所水産土木工学部
鈴木誠治・足立久美子
山本正昭・高木儀昌・久保敏

緒言

養殖施設の配置計画法の研究は遅れているため、これまで養殖に必要な静穏域を確保するための消波施設等の漁場造成事業が行われても、養殖施設の過密化、配置の不適正により漁場内の水質環境の悪化や魚の生理に悪影響を与えている漁場も見受けられる。内湾や養殖漁場内に小割り生簀や垂下施設などの養殖施設を置くと、施設自体が潮流や内部潮汐流に対して大きな流水抵抗となって、湾内の流況を変える。しかし養殖施設の流れに及ぼす影響は筏または生簀1台の測定はあっても、群としての影響の研究は行われていない。そこで本研究は養殖施設の流れに及ぼす影響及びその最適な配置計画法を確立することを目的とする。

調査方法

水理模型実験

養殖筏と小割り生簀で水理模型実験を行った。養殖筏としては瀬戸内海沿岸域などで使われているカキ筏(8.8m×24m)の1/25模型を12台作って水理実験(水路幅1.5mと8.8m)を行った。垂下連は一個の筏あたり、896本(16×56)で原型と同じ本数作った(図1)。連の長さは20cmであり、標準水深は同じ20cmである。

小割り生簀(8m×8m)は1/25模型を13個作って水理実験を行った(図2)。この時は水深は25cmである。実験水路の幅は8.8mで、そこに一樣な流れを作り、色々と筏や生簀を配置して流速や施設の抵抗力を測定した。

調査結果

1) 流速と抵抗力の関係

流速と1つの筏の抵抗力の関係は、大ざっぱには二乗に比例せず一乗比例であったが、これは垂下連が水路底にまで達しているせいである(図3)。筏の特徴として流速が速くなると連が傾いてきて、図4はその時の連の傾斜と流速の関係を示したもので、流速が6cm/sから連が目だって傾いてきて、50cm/sでは θ が 10° にもなる。連の傾きを考慮した射影面積で抵抗係数を計算した。抵抗係数 C_D は定義式

$$R = C_D \frac{w}{2g} A u^2$$

から R ：抵抗力、 A ：筏の連とフロートの水中部分の射影面積、 g ：重力加速度、 w ：水の単位体積重量をいれて逆算した。

すると抵抗係数は流速6cm/s以上ではほぼ一定の0.35になった(図5)。その時円柱の値1.2の約30%になるのは射影面積として筏の最前列でなく後方の55列の連やフロートの全射影面積も加えたため、後方の連になるにしたがって見かけの抵抗係数が減少した結果を平均しているせいである。

流速と生簀の抵抗力の関係(図6)では抵抗力は流速の1.7乗に比例していて2乗比例にまではならなかつ

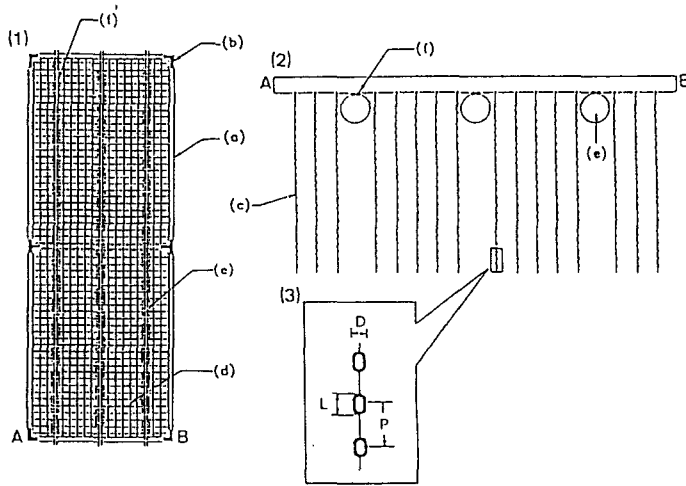


図1 養殖筏模型の概要図
(1)平面図 (2) A-B断面 (3)垂下連拡大図

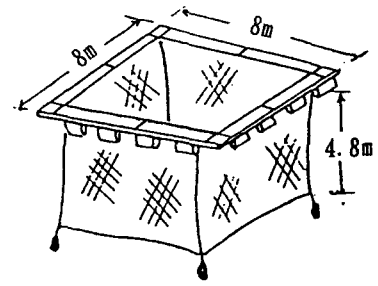


図2 生簀の原型

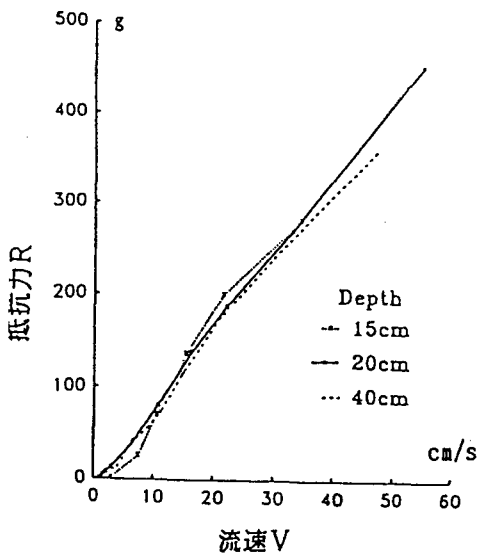


図3 筏の抵抗力と流速の関係

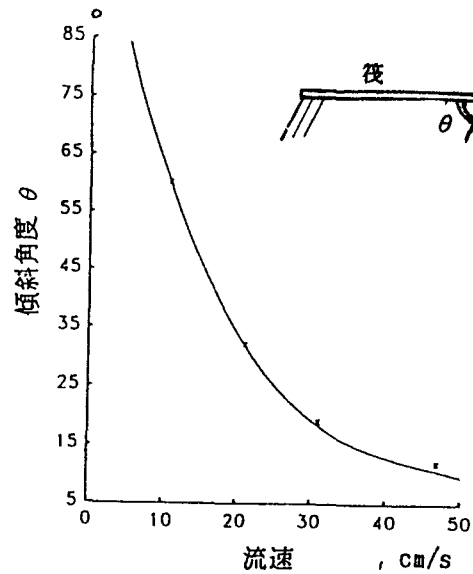


図4 筏の連の傾斜と流速の関係

た。

2) 筏に流れが斜めに当たるときの影響

筏の寸法は通常タテとヨコの比が大きいため、流れに斜めや真横に筏を係留したときの抵抗力の変化を測定した(図7)。抵抗力は斜めに係留するにつれて大きくなる。それは流れ方向の射影長さ a の変化にほぼ従っているのが分かる。

3) 流れ方向の相互干渉

流れ方向に筏を2台並べた時の相互の影響を調べると、筏を2台並べて、相互の間隔を変えながら抵抗力を計った。筏を2台連結して抵抗力(①)を計り、次に下流側の筏を固定して上流側の生簀の抵抗力(②)を計り、下流側の生簀の抵抗力は差引(②-①)で求めた。 $Ff/F0$ (Ff : 上流側筏の抵抗力, $F0$: 単独筏の抵抗力) は間隔 L が短いと0.97になるが60cm以上になるとほぼ1になり、上流側筏は下流側筏の影響はほとんどない(図8)。一方 $Fr/F0$ (Fr : 下流側筏の抵抗力) は0.1から0.5と小さく、上流側筏の影響をかなり受けている。同様に生簀を流れ方向に2台並べて、相互の影響の実験では $Ff/F0$ は間

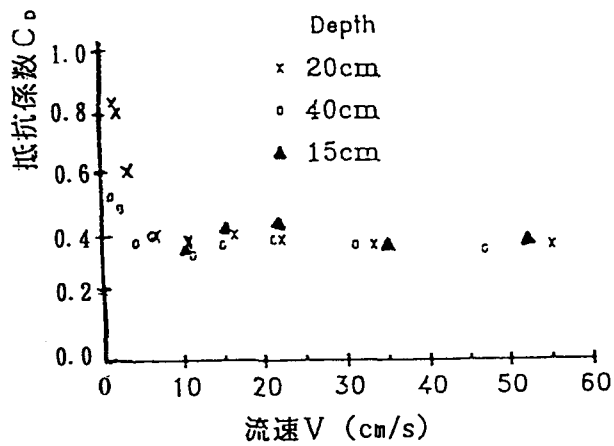


図5 連の傾斜を考慮した C_d と流速の関係

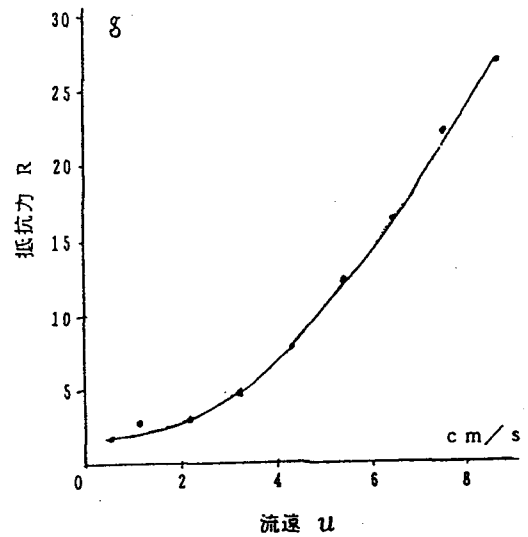


図6 生簀の抵抗力と流速の関係

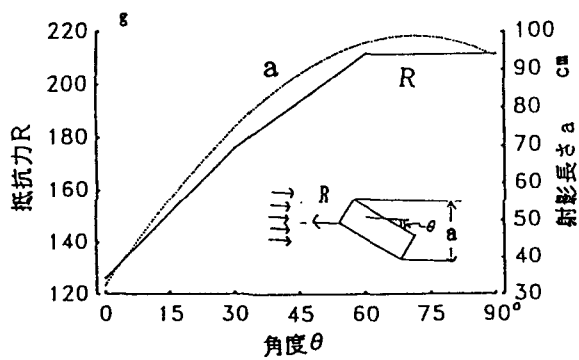


図7 筏を流れに角度をつけた時

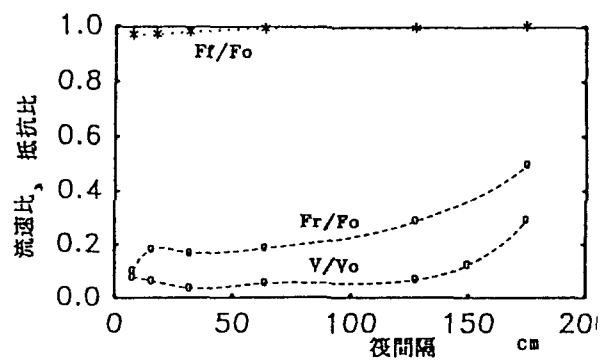


図8 筏を流れ方向に配置した時

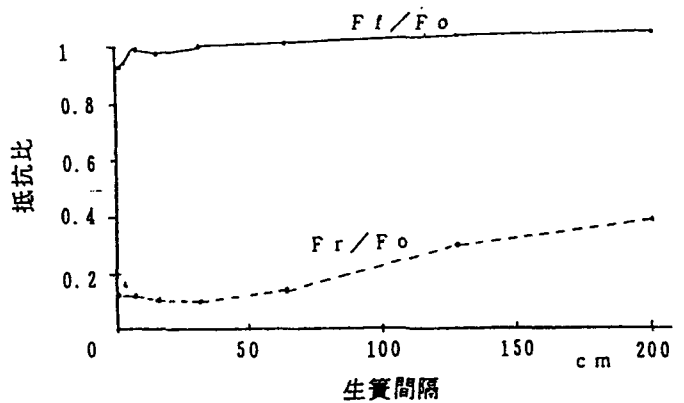
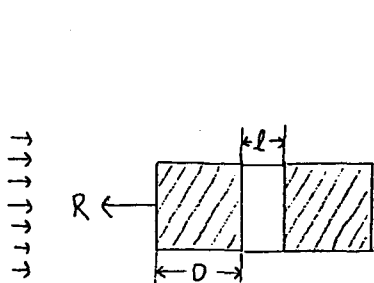


図9 生簀を流れ方向に配置した時

隔Lが短いと0.94になり、筏の0.97より小さくなったが、僅か8cm以上になるとほぼ1になり、上流側の生簀に及ぼす下流側の生簀の影響は少ない(図9)。一方 F_r/F_0 は0.1から0.4(筏の時は0.5)と小さく、上流側生簀の影響をかなり受けている。

3) 流れと直角に並べた時の相互干渉

(1) 幅8.8m水路内に筏を流れと直角方向に1, 3, 5, 9, 11台並べた。それを抵抗係数で整理した。筏台数が増えるに従って図10で右から左に、中央の筏の抵抗係数は0.30から0.57まで変化する。中心間隔比 S/D (S :筏間の中心距離、 D :筏幅)が5以上ではほぼ一定になる。

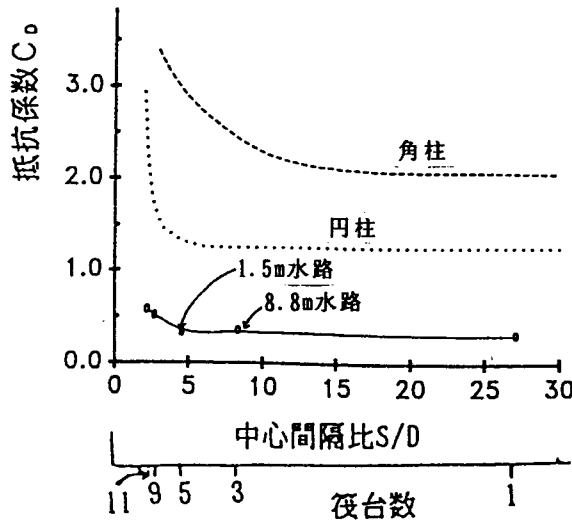


図10 筏を流れと直角方向に並べた時

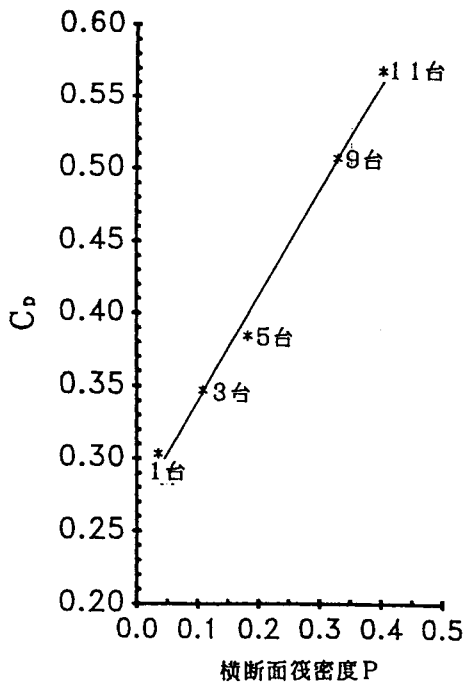


図11 筏の C_D と横断面密度の関係

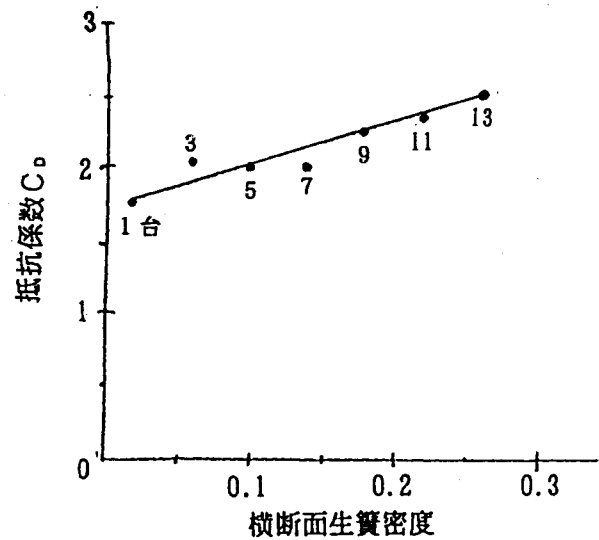


図12 生簀の C_D と横断面密度の関係

水路内に生簀を流れと直角方向に1, 3, 5, 7, 9, 11, 13台並べたときの中央の生簀の抵抗係数は1.77から2.5まで変化した。1台から11台に変わった時の抵抗係数の変化は1.3倍で、筏の時の1.9倍より大部小さかった。次に水路断面中に占める養殖施設の断面積の割合を横断面密度として、それを横軸にしたグラフは直線になった(図11、12)。横断面密度の0.1から0.3の時の変化は1.3であり、筏の時の1.4と殆ど同じになり、横断面密度を使えば生簀と筏間に統一がとれることがわかった。

(2) また3列の筏を間隔を変えながら1列と比較すると(図13)、抵抗係数はS/Dが2付近で最大になり、3列は1列の、連結の時で約1.4倍、連結なしで約1.2倍になった。S/Dが6以上では両者とも約1.1倍になった。

3列の生簀を間隔を変えながら1列と比較すると(図14)、抵抗係数はS/D(S:中心間隔、D:生簀幅)が1.3付近で最大になり、それより近くても離れていても小さいが、その変化は小さく最大の時も単体1列の1.1倍であり、S/Dが7以上で殆ど単体1列の時と変わらなかった。すなわち流れ方向の相互干渉は筏より生簀の方が大きい、流れと直角方向の相互干渉は生簀より筏の方が大きく、同じ筏の時は単体より連結の時が大きい。これは流れ方向に長い寸法をもった養殖施設ほど流れと直角方向の相互干渉は大きくなることを意味する。

4) 海底摩擦との比較

流れのシミュレーションでは従来は養殖施設の抵抗力は考慮せず海底摩擦のみを考えてきたので、養殖施設の抵抗力を海底摩擦と比較してみる。

海底摩擦速度 u^* は

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} = \gamma u \quad \text{から、} \tau = \rho \gamma^2 u^2 \quad \text{---① 単位面積あたりの力}$$

$$\text{筏1台の抵抗力} \quad R = \frac{w}{2g} C_D A u^2 = \frac{\rho}{2} C_D A u^2$$

湾内面積S、そこにn台の筏があると

$$\text{単位面積あたりの筏の抵抗力} \quad \frac{nR}{S} = \frac{\rho}{2S} C_D A u^2 n \quad \text{---②}$$

②÷①

$$\frac{\text{単位面積あたりの筏抵抗}}{\text{海底摩擦応力}} = \frac{n A C_D}{2 S \gamma^2}$$

以上を岡山県虫明湾に適用すると、筏中心間隔は筏幅の2~3倍のことが多く、S/D=2.5にとり、したがって $C_D=0.5$ 、 $n:1894$ 台、 $A:257\text{m}^2$ 、 $S:4.9\text{km}^2$ 、 $\gamma^2:0.0026$ を単位を合わせていれて、上記の比は約9.5になり、海底摩擦に比べて一桁大きく、筏の流れに対する影響が大きいことがわかった。この比を入とする。同様に養殖水面の面積に対して生簀が5%の面積でも海底摩擦の8.5倍になる。また1台の筏の抵抗力を海底に射影した部分の海底摩擦力(α)との正味の比は120で生簀の170よりも小さい(図15)。

5) 流れに及ぼす影響

次に入は具体的な流れにどのような影響を与えるか計算してみる。

図16のように養殖施設群を通過して流速uが u_1 になったとする。運動量保存の法則から

$$\begin{aligned} \rho A u \cdot u - \rho A_1 u_1 \cdot u_1 &= R + F \\ &= \lambda \tau S + \tau S \end{aligned}$$

あまり断面変化がない短い区間を考えて

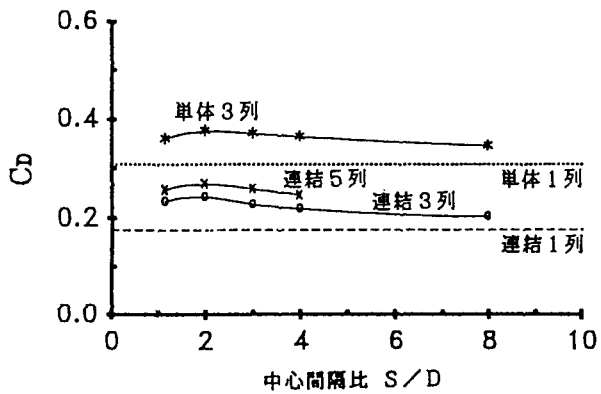


図13 筏を流れと直角方向に並べて間隔を変化させた時

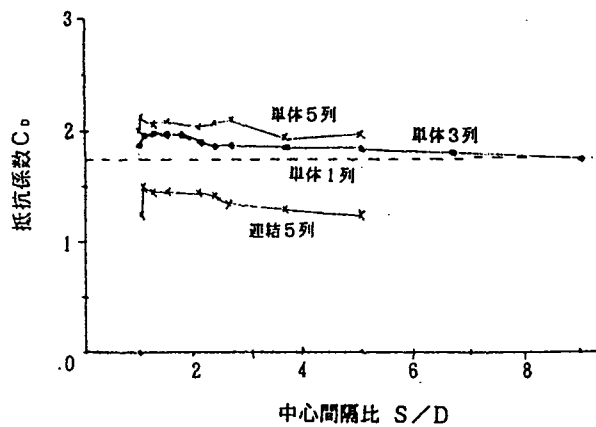


図14 生簀を流れと直角方向に並べて間隔を変化させた時

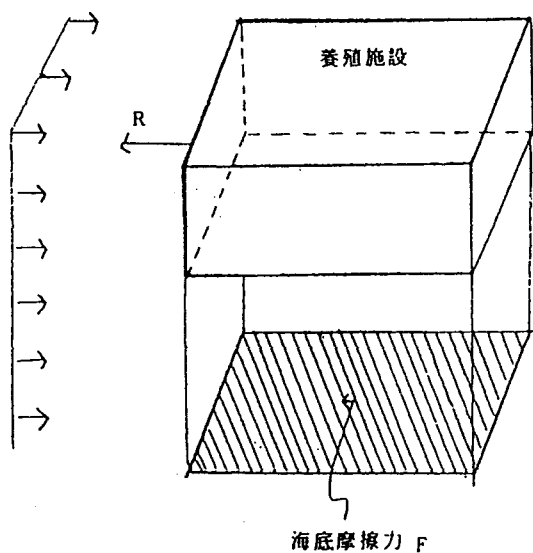


図15 養殖施設の抵抗力と海底摩擦との比

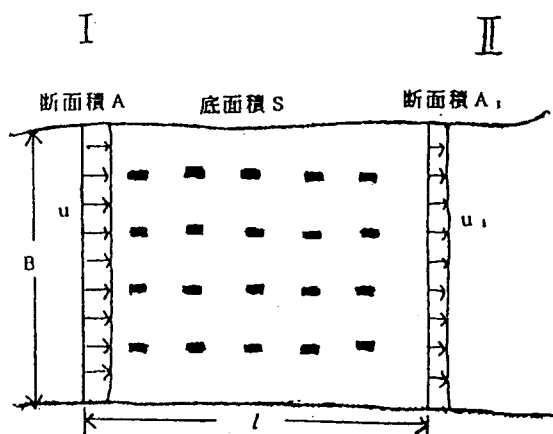


図16 養殖施設群を通過する流れ

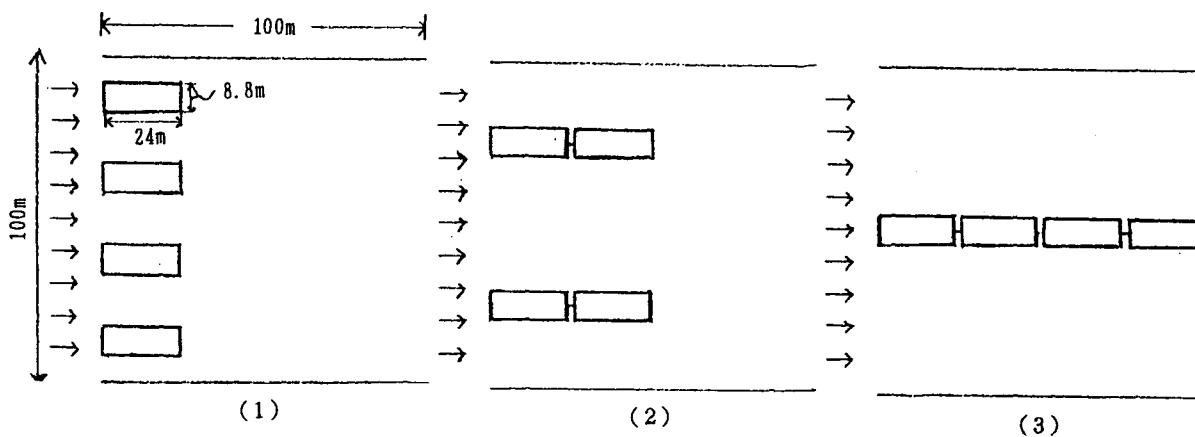


図17 配置による流況への影響

$A_1 \approx A$ として

$$\rho A (u^2 - u_1^2) = (\lambda + 1) \tau S$$

ここに①式の τ を代入して変形すると

$$\frac{u^2 - u_1^2}{u^2} = 1 - \left(\frac{u_1}{u}\right)^2 = (\lambda + 1) \gamma^2 \cdot \frac{S}{A}$$

水路幅を B 、水深を h 、この区間の長さを l とすれば

$S = B l$, $A = B h$, さらに $\gamma^2 = 0.0026$ を入れて

$$1 - \left(\frac{u_1}{u}\right)^2 = 0.0026 (\lambda + 1) \frac{l}{h}$$

$$\frac{u_1}{u} = \sqrt{1 - 0.0026 (\lambda + 1) \frac{l}{h}}$$

l が大きいときは l/n の区間を考えて、それを n 回掛け合わせて、

$$\frac{u_1}{u} = \left\{ 1 - 0.0026 (\lambda + 1) \frac{l}{n h} \right\}^{\frac{n}{2}}$$

区間が水深の10倍の距離をとって $l = 10h$ 、

養殖施設が無ければ $\lambda = 0$ 、分割数 n を10にとって

$$u_1 = 0.987 u$$

養殖施設があった時は先ほどの例、 $\lambda = 9$ を入れて

$$u_1 = 0.877 u$$

この差はかなりあり、養殖施設の流れに対する影響は大きい。

6) 配置による影響

図17のように現地の大きさで考えて、 $100\text{m} \times 100\text{m}$ の区域(水深5m)に $8.8\text{m} \times 24\text{m}$ の筏4台の配置を(

1) 4並列の配置を(2) 2台連結2並列の配置、(3) 4台連結にした時の流速への影響を計算する。

(1) この時の断面密度は $8.8 \times 5 \times 4 / (100 \times 5) = 0.352$ 、この時の C_D は図11から0.523、4) で計算したように $C_D = 0.5$ の時筏の抵抗力は直下に射影した部分の海底摩擦力 α を単位として表わして 120α だから、0.523 では比例して $120 \times 0.523 / 0.5 = 126\alpha$ 、すると4台だから $126 \times 4 = 504\alpha$ 、一方 $100\text{m} \times 100\text{m}$ の区域の海底摩擦力は $100 \times 100 / (8.8 \times 24) = 47.3\alpha$ 、故に $\lambda = 504 / 47.3 = 10.7$

次にこの100m区間の速度減少比 u_1/u は $L/h = 100/5 = 20$ 、 n を20にとって、5) と同じように計算して0.734になる。

(2) は断面密度は0.176、図11から $C_D = 0.4$ 、前方の筏は $120 \times 0.4 / 0.5 = 96\alpha$ 、後方の筏は2m間隔で連結されているとして、模型では1/25して8cmだから図8から $Fr/F_0 = 0.1$ 、従って後方の筏の抵抗力は $96 \times 0.1 = 9.6\alpha$ 、4台では $96 \times 2 + 9.6 \times 2 = 211\alpha$ 、故に $\lambda = 211 / 47.3 = 4.5$ で(1)の半分より更に小さい、これから計算した速度減少比は表1に示した。

(3) は断面密度は0.088、前と同様の手順で $C_D = 0.33$ 、4台連結した抵抗力は $79.2 + 79.2 \times 0.1 \times 3 = 103\alpha$ 、 $\lambda = 2.2$ 、但しこの時の連結した3台目、4台目の Fr/F_0 は2台目と同じに0.1とした。

表1 配置と流況

配置	λ	u_1/u
1	10.7	0.734
2	4.5	0.866
3	2.2	0.920

このように配置の仕方によって流況が大きく変わることが分かる。

考察

多機能静穏域事業等で増養殖場の造成に関し、その施設の適正密度を決定するのに、従来施設の流れに対する影響を考慮してこなかったが、本研究で養殖施設群の流れに対する影響の大きさを、従来も考慮に入れていた海底摩擦力との比較で論じたので、シミュレーションへの応用が容易である。また直接的に配置の仕方により、流況へ大きく影響することも明示した。

摘要

残された問題点としては

- ①垂下養殖施設は養殖塊の生育段階で大きく流水抵抗が変化することが予想されるが、実際にはその調査は殆ど行われていない。そのため各生育時期別に垂下養殖施設の流れに及ぼす影響等の研究が必要である。
- ②小割生簀でも魚の収容密度や魚種の違いによる施設の流れに及ぼす影響の調査が必要である。