

水産養殖イネスにおける内外流速および流体力

糸 列 長 敬*・瀬 戸 雅 文**・千 葉 雄 一**・中 村 充***

1. 緒 言

近年、沖合養殖イネスなどイネスの大型化に伴う流体力やイネス内外の海水交換の計算法が重要になってきた。これに関する従来の研究は殆んどなく、力学系については試行錯誤的に、環境的には養殖魚量を 10 kg/m^3 前後として行われており、このための事故を起すことも再々である。養殖イネス規模の大型化に伴って、その計画、設計法の基準策定が必要となってきた。本研究は筆者の一人中村 (1979) による理論の検証を含め、実用式の誘導を行なう。

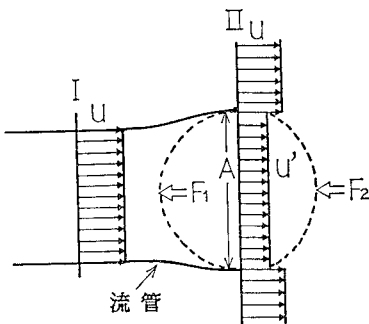
2. 理論解析

(1) 基本的考え方

運動量流束 (momentum flux) の保存則を用いる。図一1において、イネスの上流側流速を u 、イネス内流速を u' とすれば単位時間に I 断面を流入する運動量流束と II 断面を流出する運動量流束の差は、イネスの上流側半円筒に作用する流体力 F_1 に等しい。よって

$$\rho u' A(u-u') = F_1 \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ρ : 海水の密度、 A : II 断面の面積 ($\approx 2RD$)
 R : イネスの半径、 D : イネスの深さである。(1) 式から u' が求まり、 u' が円筒イネスの下流側半分に作用す



図一1 運動量流束

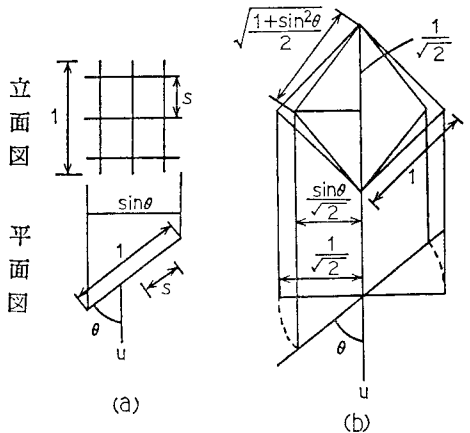
るとして、その流体力 F_2 を求め、 $F_1 + F_2$ をもってイネスに作用する全流体力とする。

(2) 網に作用する流体力

網糸を柱状体としてその単位長さに働く流体力 F_L は Morison・O'Brein (1950) の式に従って

$$F_L = C_D d \frac{\rho u^2}{2} + C_M \rho \frac{\pi d^2}{4} \frac{du}{dt}$$
$$= \frac{1}{2} C_D d \rho u^2 \left\{ 1 + \frac{C_M \pi d}{2 C_D} \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{u} \right) \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 C_D 、 C_M : 抗力係数、仮想質量係数、 d : 網糸の直径である。(2) 式第2項は抗力に対する仮想質量力の比で、波運動程度の非定常現象では t は波周期 T 、 u は $\pi H/T$ (H : 波高) 程度のオーダーの量であるから (2) 式中括弧内第2項は $O(d/H)$ 程度の量となる。網糸の径 d は数ミリメートル、波高はメートルであるから、この値は 10^{-3} のオーダーで抗力に対し質量力は省略できる。



図一2 網と流れの方向

網の抗力に関する研究は Tauti (1934) の研究をはじめ漁具の分野で数多くあるが、ここでは簡潔に単位面積中に存在する網糸の総延長に作用する流体力とし、流れ方向に対する斜影面積を用いれば図一2 (a) の場合 (2) 式は

* 正会員 農博 東京水産大学助教授 水産学部海洋生産学科
** 東京水産大学大学院 海洋生産学科
*** 正会員 農博 東京水産大学教授 水産学部海洋生産学科

$$f = \frac{C_D w_0 d u^2}{2sg} (1 + \sin \theta) \quad \dots\dots\dots (3)$$

図-2 (b) の場合は

$$f = \frac{C_D w_0 d u^2}{2sg} \sqrt{3 - \cos 2\theta} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 s : 網目の間隔、 θ : 網と流向のなす角、 w_0 : 水の単位体積重量、 g : 重力加速度、 f : 網地単位面積に働く抗力 (重力単位)、 $\theta = \pi/2$ で (3)、(4) 式は一致する。

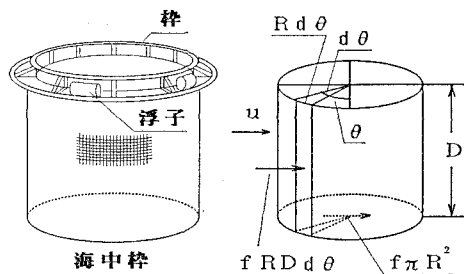


図-3 円筒型イネスに働く力

(3) イネス内の流速

円筒型イネスの略図を図-3 に示す。このイネスの上流側半分に作用する流体力 F_1 は

$$\begin{aligned} F_1 &= \int_0^\pi f R D d\theta + \frac{1}{2} f \pi R^2 \\ &= \frac{C_D w_0 d R D}{2sg} \left\{ \alpha u^2 + \frac{\pi R u^2}{2D} \right\} \quad \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

ここに、 α は

図-2 (a) の場合

$$\alpha = \int_0^\pi (1 + \sin \theta) d\theta = 5.142$$

図-2 (b) の場合

$$\alpha = \int_0^\pi \sqrt{3 - \cos 2\theta} d\theta = 5.403$$

R : 円筒イネスの半径、 D : イネスの深さ、(5) 式を (1) 式に代入し、 $A = 2RD$ において解けば

$$\frac{u'}{u} = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{C_D d}{4s} \left(\alpha + \frac{\pi R}{2D} \right)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

後述の実験によれば、イネス底面網の流体抵抗はイネス内流速に余り影響を与えていない。これは底面の流れが短く、上層への速度勾配の伝達が少ないためと考えられる。このとき (6) 式は (7) 式となる。

$$\frac{u'}{u} = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{C_D d}{4s} \alpha} \quad \dots\dots\dots (7)$$

(4) イネスに作用する流体力

イネス側面については全周について、これと底面について (5) 式と同様にして (8) 式を得る (重力単位)

$$F = \frac{C_D w_0 d R D}{s} \left[\alpha \left\{ 1 + \left(\frac{u'}{u} \right)^2 \right\} + \frac{\pi R}{D} \right] \frac{u^2}{2g} \quad \dots\dots (8)$$

3. 実 験

実験は、定常流および波による流体力の測定を行った。円筒イネスの模型は図-3 に示す形の金網イネスで直径 ($2R$) 70 cm、深さ (D) 49 cm、網糸の径 (d) 0.6 mm、網目間隔 (s) 3 mm であり、これは実物の 1/10~1/30 に相当する。

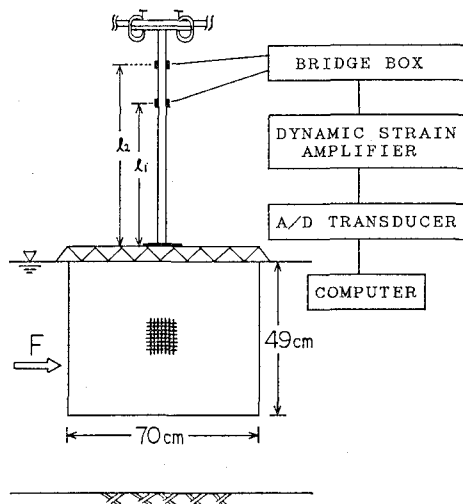


図-4 実験模式図

図-4 に示すように模型の上面に、直径に沿って鋼板を取付け、その中心位置にステンレス製支持棒を取付ける。支持棒は上部に 2 対のストレインゲージを取付けて流体力を測定する。ストレインゲージ出力は、それぞれの位置における曲げモーメントに比例するものであり、それぞれを添字 1, 2 をつけて示すと、

$$M_1 = M_0 + F l_1$$

$$M_2 = M_0 + F l_2$$

ここに、 M : 曲げモーメント、 M_0 : 支撥棒下端のモーメント、 F : イネスに加わる水平力、 l : それぞれ支持棒下端よりストレインゲージまでの距離である。よって、

$$M_1 - M_2 = F(l_1 - l_2)$$

であり、2 対のストレインゲージの出力差 (ΔM) と水平力 F は比例することになり、予め既知の水平力を与えてキャリブレーション図 (図-5) を作っておく。ストレインゲージの出力は動ひずみ計を介して 20 Hz で A/D 変換しフロッピーディスクに記録後コンピュータにより解析した。流速の測定には電磁流速計を用い、波高は容量式波高計を用いて同様の処理を行った。

実験水槽は、一様流実験は回流水槽を用いた。水槽は

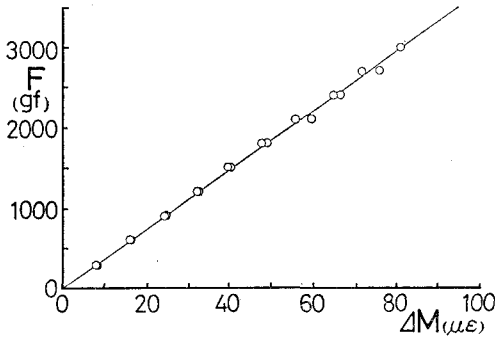


図-5 キャリブレーション図

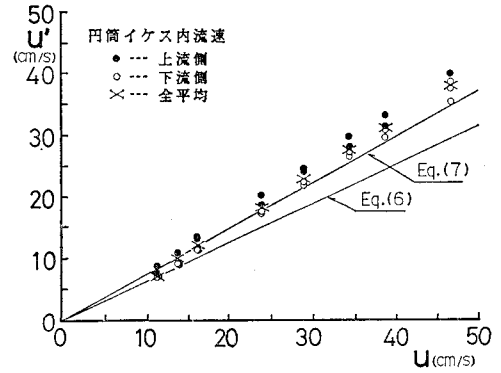


図-6 イクス内流速の理論値と実験値の比較

幅 1.45 m, 高さ 1.7 m, 常用水深 1.2 m, 測定部長さ 7 m で一様流を得るための表面流加速装置や境界層吸収装置がついている。流速の実験条件は 5~50 cm/sec の範囲で与え、イクス内流速は 8ヶ所で測定し、イクス内流速の分布も観測した。この流速範囲は原型では Froude 則で 15~270 cm/sec であり、十分に現地条件をカバーしている。波浪場における実験は、幅 1 m, 高さ 1.3 m, 長さ 25 m の造波水槽を用いた。実験水深は 70 cm である。実験波はイクス直径の 2 倍以上の波長範囲として、1.5~2.5 sec とし、波高は 0.7 cm~18.2 cm とし波形勾配が 0.01~0.05 の範囲を主に与えた。現地条件換算値では周期 5~14 sec, 波高 7 cm~546 cm であり、十分に現地実用域をカバーしている。波の実験条件を表-1 に示す。

表-1 設定波の条件

周期 (sec)	波高 (cm)	イクスの直径/理論波長
1.5	0.7~18.2	0.157
2.0	2.6~16.7	0.106
2.5	3.1~14.5	0.008

4. 実験結果とその考察

(1) 定常流実験

一様流における実験結果と理論式 (6), (7) 式の比較を図-6 に示す。式中の抗力係数 C_D はアスペクト比 $s/d=5$ に対応した値 0.74 を用いた。 C_D については多くの研究があり、必ずしも確定的でないが、本研究では沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針 (付表に示される) と整合性をもたせてこの値とした。

(7) 式による値は実験値よりやや小さいがよく一致していることが判る。図中黒丸はイクス内の上流側半分に設置した流速計の値であり、白丸は下流側半分に設置した流速計の値である。イクス内の流速は場所によって

この程度の分布が見られる。なお、理論値が流速の増大とともにやや過小値となるのは、(1) 式の A を $2RD$ としたが、実際にはイクスによる流速変化は図-1 の II 断面のイクス外側近傍にも及ぶためと考えられる。しかし (7) 式は実験の下限線となっており、養魚の立場から u' を過大に見積ることは危険であるので (7) 式を実用式として十分であると考えられる。

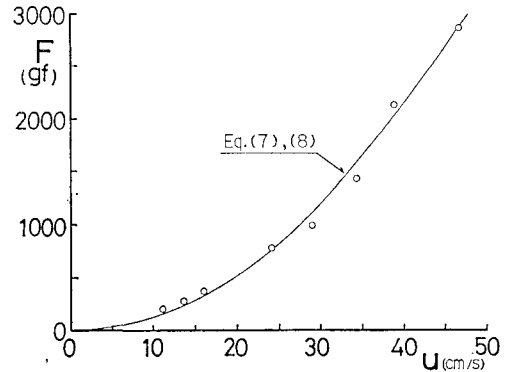
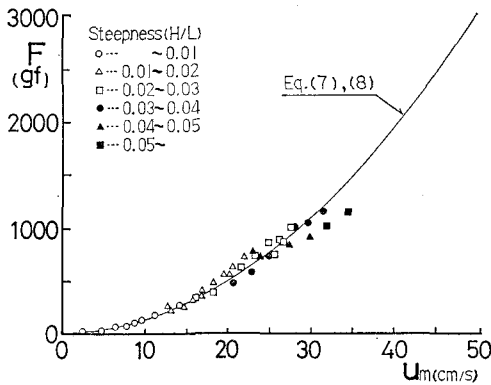


図-7 定常流場のイクスに作用する流体力

イクスに作用する流体力については図-7 に示すようである。図中の実線は (7) 式による u' を用いて (8) 式で計算した理論値である。実験値を十分満足していることが判る。

(2) 波による実験

波浪場においても、2. (2) で検討したように、抗力に対して質量力は無視できるので、この検証も含め、(7), (8) 式を適用する。図-8 に最大波力の理論値と実験値を示す。横軸の u_m は微小振幅波による水粒子の最大軌道流速をイクス深さで平均化した計算値である。測点についてはイクス前面に作用する実測最大流速の平均値である。図中の実測点は波形勾配で区別してプロットしてあるが、この影響は殆んどなく一意的に最大流速に支



図—8 波浪場のイネスに作用する流体力

配されていることがわかる。(7),(8)式による理論値はほぼ実験値と一致している。

5. 結 言

円筒型イネスについて、イネス内流速およびイネスに作用する流体力の計算法を求め、この理論式を水理模型実験によって、その妥当性を検証した。その結果イネス内流速の計算は(7)式で、イネスに作用する流体力は一様流場、波浪場を含めて(8)式で計算して実用上十分である。

参 考 文 献

- 全国沿岸漁業振興開発協会 (1984): 沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針, 129 p.
- 中村 充 (1979): 水産土木学, 工業時事通信社, pp. 456~461.
- Tauti, M. (1934): The force acting on the plane net in motion through the water, Nippon Swisan Gakkaishi, Vol. 3, pp. 1~4.
- Morison, J. R., M. P. O'Brien, J. W. Johnson and S. A. Schaaf (1950): The wave force exerted by surface wave on piles, Petroleum Trans., AIME, Vol. 189, pp. 149~157.

付表 付加質量係数(C_{MA})と抗力係数(C_D)

部材形状			
l/a	1 2 4 5 10 20 ∞	1 2 5 10 20 40 $\leq$	1 2 4 5 10 20 ∞
C_D	1.05 1.06 1.13 1.14 1.25 1.50 2.0	0.53 0.68 0.74 0.82 0.90 1.0	1.12 1.15 1.19 1.20 1.28 1.50 2.0
C_{MA}	1.0	1.0	1.0
形状係数	$a l$	$a l$	$a l$
実数係数	$a b l$	$\pi a^2 l / 4$	$\pi a^2 l / 4$

注 1) 表中 $\Rightarrow$ は、流れの方向

注 2) 角材の C_D は、 $l/a=1, \infty$ の実測値のみであるので、板、円柱の特性を考慮し、板材の C_D を Y_P 、角柱の C_D を Y_S とおいて $Y_S=Y_P-0.07(20-l/a)/19$ で求めた値である。

(沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針
p. 129 による)