

海面いけすの波浪動揺の算定法について

愛媛大学工学部

正員 中村 孝幸

日本電気海洋エンジニアリング

正員○ 松本 博明

1. まえがき: 魚養殖用の浮きいけすの構造は、上部工、海面下の網、係留索の3つの部分から成っている。従来の研究では、いけすの各構成部分に着目したものはあるもののいけす全体を対象とした研究例は、ほとんど見られない。本研究では、浮きいけすの全体構造を多自由度の振動系にモデル化して波浪動揺の算定モデルを明らかにする。そして、模型の浮きいけすを用いた波浪動揺実験を行い、実験結果と算定結果との比較から、上記算定法の妥当性を検証する。

2. 波浪動揺の算定モデル: (1) 実際構造物: 解析の対象とする実際のいけすの大きさは、10m×10m×10mの矩形型いけすである。使用する網は、金網と繊維網の2種類を考える。上部工は、3本のガスパイプから成る枠が、浮子群によって支持されており、浮子の個数は、金網を使用する場合は、1面当り5個の計20個、繊維網を使用する場合は、1面当り3個の計12個である。浮子1個の大きさは、直径60cm、長さ110cmで、発泡スチロール製である。総重量は、金網の場合、約3t、繊維網の場合、約1.5tである。図-1に、金網を使用したいけすの概略図を、表-1にいけすの諸量を示す。なお、繊維網と沈子については、大沢らの論文¹⁾を参考にした。係留系については、現場の状況が明らかでないので、一般的なカテナリー係留で左右対称の係留方法を想定した。

(2) 振動系へのモデル化: 図-2に振動モデルを示す。上部工は質量Mの剛体に、左右の側網、底網、および底枠または沈子の質量は、各々 m_L 、 m_R の集中質量にモデル化した。モデル化に際し、側網、底網は等分布質量であることから、これらの総質量を2分し、上下、あるいは左右の集中質量に付加する等価質量として評価した。このモデルでは、下部の質量 m_L 、 m_R は剛性のない網により、上部工にヒンジ結合され、いわゆる振子モデルで近似してある。一方、係留系は、上部工の質量Mを弾性支持する水平、鉛直、回転方向におけるバネとしてモデル化した。変位座標系は、上部工の水平変位X、鉛直変位Y、回転変位 θ および側網下端部の水平変位 X_0 を考える。振動系の自由度は4である。

(3) 上部工および網に作用する流体力の算定: 上部工の浮子群に作用する流体力は、3次元波動場のGreen関数を核関数とするわき出し分布法に基づき求めた。浮子のきつ水は、いけすの総重量を考慮して浮子の直径の50%とした。網に作用する波力 F_D は、中村らの研究²⁾に基づき、次式で与えられるものとした。

$$F_D(t) = C_D \rho (1 - \lambda) (u - \dot{X}) |u - \dot{X}| A / 2 \quad (1)$$

ここに u : 流速、 $\dot{X}$: 網の振動速度、 C_D : 網地の抗力係数、 ρ : 流体密度、 λ : 網地の開口率、 A : 網地の面積である。そして $\dot{X} \ll u$ を仮定すると式(1)は次のように近似できる。

$$F_D(t) = C_D \rho (1 - \lambda) u |u| A / 2 - C_D \rho (1 - \lambda) |u| \dot{X} A \quad (2)$$

(4) 振動方程式: 以上のモデル化及び仮定に基づき振動方程式を誘導する。なお、網に作用する分布外力は、

表-1
実際のいけすの諸量

上部工の枠 浮子	外径	60.5 mm
	肉厚	3.8 mm
	重量	5.3 kgf/m
金網	重量	6 kgf/個
	浮力	300 kgf/個
	重量	275 kgf/面
繊維網	開口率	88 %
	線材径	3.2 mm
	開口率	90 %
沈子	線材径	2.08 mm
	重量	24.5 kgf × 12個

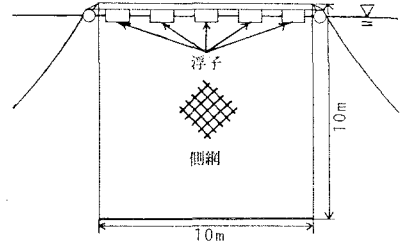


図-1 金網いけすの概略図

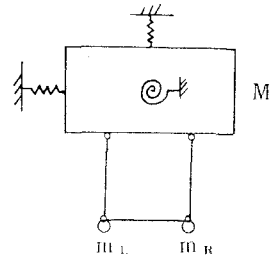


図-2 振動モデル

前述の分布質量と同様の方法で上下、あるいは左右の集中質量に付加する等価外力として評価する、4つの振動方程式のうち上部工の水平方向、側網下端部の水平方向のみの式を示すと以下のようである。

○上部工の水平方向

$$(M + \rho r_B^3 C_{AXX}) \ddot{X} + \omega \rho r_B^3 C_{fXX} \dot{X} + \{K_{XX} + (M_2 g - \rho g V_2)/l\} X + K_{XY} Y + \rho r_B^3 C_{AX\theta} \ddot{\theta} + \omega \rho r_B^3 C_{fX\theta} \dot{\theta} + K_{X\theta} \theta - \{(M_2 g - \rho g V_2)/l\} X_0 = F_X + F_{DU} \quad (3)$$

○側網下端部の水平方向

$$(M_2 + M_{VX2}) \ddot{X}_0 + C_1 \dot{X}_0 + \{(M_2 g - \rho g V_2)/l\} X_0 - \{(M_2 g - \rho g V_2)/l\} X = F_{DD} \quad (4)$$

ここに、 $M_2 = m_L + m_R$ 、 C_{Aij} : 上部工の付加質量、 K_{ij} : 係留系のバネ定数、 g : 重力加速度、 V_2 : M_2 の体積、 l : 網のきつ水、 ω : 角速度、 r_B : 浮子の半径、 C_{fij} : 線形流体力減衰係数、 F_X : 上部工に作用する水平波力、 F_{DU} 、 F_{DD} : 側網の上半分、下半分に作用する流体力、 M_{VX2} : M_2 の付加質量、 C_1 : 側網の構造減衰係数である。なお、下添字の i 、 j は、 i が力の作用方向、 j が運動の方向を表す。

3. いけす模型実験による算定モデルの検証: (1) 実験装置および実験条件: 浮きいけすの模型は、フルードの相似則に基づき模型化した。長さの縮尺は $1/20$ である。なお、振動系における動力学的な相似が成立するためには、系の固有振動周期と作用波の周期との比が原型と模型とで一致する必要がある。波条件は、周期 $T = 1.14 \sim 2.15 \text{ sec}$ の間の4種類、波高 $H = 7.5 \text{ cm}$ 、 15.0 cm の2種類、水深 80 cm とした。

(2) 動揺変位の実験結果と算定結果との比較: 図-3、4に実験結果と算定結果との比較の代表例として上述した X 、 X_0 についての結果を示す。図中では、横軸にいけすの長さとお波波長との比 B/L_0 をとり、縦軸に動揺変位を入射波の振幅で除した無次元変位がとってある。これらの図より、金網及び繊維網いけす共に動揺変位 X 、 X_0 は算定結果にほぼ一致していることがわかる。そして、図4に示されるように側網下端部の水平変位 X_0 は、 B/L_0 が小さく、長周期波になるほど、動揺変位が増大し、注意する必要があるものと言えよう。なお、 $B/L_0 = 0.1$ 以上の条件は、現場では周期 $T = 8 \text{ sec}$ 以上の波に対応することを付記しておく。

4. 結語: 浮きいけすの波浪動揺変位は、上部工、水面下に付属する網および係留系の3者を考慮して多自由度の振動系にモデル化した本算定法によりほぼ予測できる。この際、水面下の網の動的な効果は、金網および繊維網にかかわらず、振子モデルで近似できる。

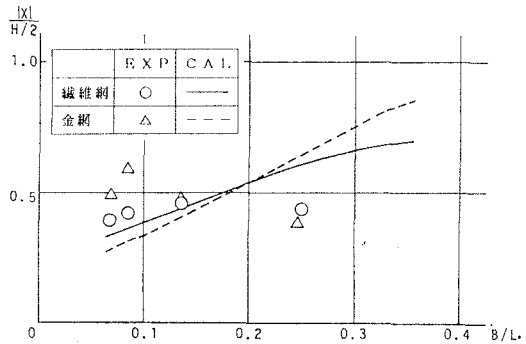


図-3 上部工の水平動揺変位 X

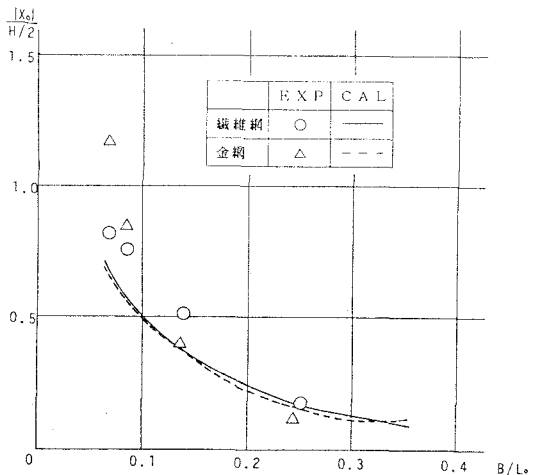


図-4 側網下端部の水平変位 X_0

((参考文献))1) 大沢要一、田原陽三、武富一: 養殖生養殖の研究1; 水工研報告6, pp297~321, 1985.2) 中村孝幸、佐伯信義、飯野誠: 生簀網に作用する波力の特性について; 第39回土木学会中国四国支部研究発表会講演要集, pp159~160, 1987.