

波浪による養殖いけす施設の動的応答

Dynamic Response of a Floating Fish Farm to the Ocean Waves

松原雄平*・野田英明*・西平福宏**

Yuhei Matsubara, Hideaki Noda and Fukuhiro Nishihira

The problem of the dynamic behaviour of a floating fish habitat by ocean waves is investigated theoretically in this paper. A mathematical model for determining the dynamic displacement of an aquaculture are derived by using an empirical relationship of wave force acting on the plain net. The calculations results are compared with the wave tank tests under various wave conditions and they show good agreement. Also, a new field measurement system of the movement of fish farm structure is developed and results of laboratory tests of the system are presented.

(Keywords: Dynamic Behaviour, Floating Structure, Field Observation, Aquaculture)

1. はじめに

養殖いけす施設は、ハマチやブリなどの高級魚介類の養殖を目的として、わが国の内海域、内湾域で用いられてきた水産構造物である。近年、内海域での海域汚濁が進んでいることから、施設の設置海域を沖合いへと広げ、新たな養殖空間を開発しようとする試みがなされている。しかしながら、沖合い海域でのこうした試験施設の破損等が報告されていることから、新たな設計指針を確立する必要がある。この研究では、養殖いけすの波浪応答に関するシミュレーションモデルを誘導するとともに、模型実験による検証を報告する。さらに、現地施設の波浪応答観測システムを開発し、実験室での検証結果についても述べる。

2. 養殖いけす施設の波浪応答モデルの誘導と実験的検証

2. 1 養殖いけす施設の概要

養殖いけすは、わが国の海面養殖業の総生産額の20%以上を占める主要業種である(1989, 農林水産統計局編)。この施設は、一辺10m程度の立方体形状の周囲ならびに底面を平面の網地で囲んだもので、鋼管材ならびに浮子から成る浮体部、側面ならびに底面の網地を主としたいけす部および施設を海底に固定支持するための係留部とから成るものである。こうしたいけすは、子割りいけすとも呼ばれ、これらの子割り施設を複数組み合わせ合わせて、養殖効率を向上させることもしばしば行われている。図-1は、そうした組み合わせ子割りいけすの例を示したものである。図からも分かるように、側面ならびに底面の網地では、とくに拘束されていないために、一方向流れならびに波の影響を受けて、この形状は変形する(網なり)。このために底面におもりをいれて、網なりをふせぐようになっている。

これまででは、こうした施設は波浪静穏な内海域ならびに内湾域に係留されてきたため、その設計計算においては、主として流れによる力を考慮することで十分であった。しかし、外海域に係留する施設を設計する場合、外

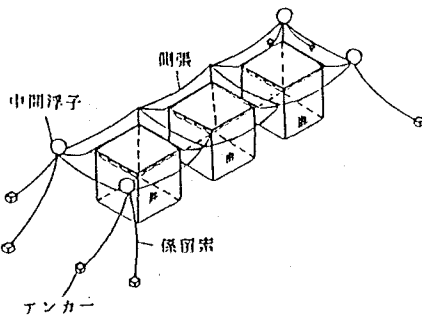


図-1 養殖いけす施設の概要 (沿岸整備指針より)

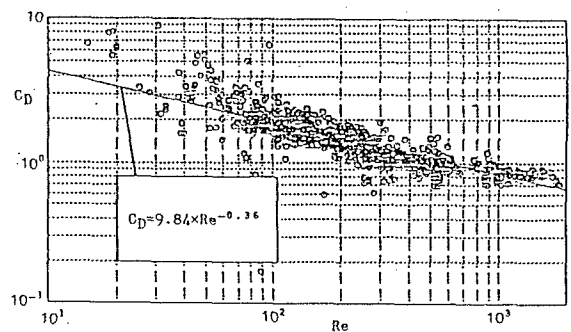


図-2 平面網地Cdと網地Re数との関係

* 正会員 鳥取大学工学部土木工学科 (680 鳥取市湖山町南4丁目101)

** 正会員 西松建設技術研究所

力としては波浪力を、まず第一に考慮しなくてはならない。以下では、いけす施設の波浪応答解析モデルを誘導し、その実験的検証を行う。

2. 2 いけす施設の波浪応答モデルの誘導

著者らは、平面網地に作用する流体力を測定し、平面網地の抗力係数が図-2に示すような網時レイノルズ数 ($Re = U d / \nu$) との関係で与えられることを明らかにした。ここに、 U は、網地を通過する水粒子速度の水平成分、 d は網地の直径、 ν は水の動粘性係数である。これより、網地の抗力係数は次の式

$$C_d = 9.84 Re^{(-0.36)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。

いま、図-3に示すような座標系ならびに作用外力のもとで、いけす施設が波の進行方向と平行に置かれているものとする、いけす施設の2次元面内の運動方程式は、

$$M \ddot{x} = F_h + H_a - H_{a0} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$M \ddot{z} = F_v + F_b - V_a - V_{a0} - M g \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$I \ddot{\theta} = (H_a - H_{a0}) m + (V_a - V_{a0}) n + F_b p \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。ここに M はいけす質量、 F_b は浮力、 F_h および F_v はいけす施設に作用する水平方向ならびに鉛直方向の流体力、 H_a および H_{a0} は、岸側および沖側の係留索張力の水平成分であり、 V_a および V_{a0} は、沖側および岸側の係留索張力の鉛直成分である。また m 、 n および p は、重心から H_a 、 V_a および F_b の作用点までの距離である。 $\cdot$ は、時間に関する微分を表す。 F_h および F_v は、相対速度ならびに相対加速度を考慮したモリソン式から与えた。応答計算の初期値としては、カテナリー理論から求める係留索張力を与え、初期速度、加速度を0とおいた。

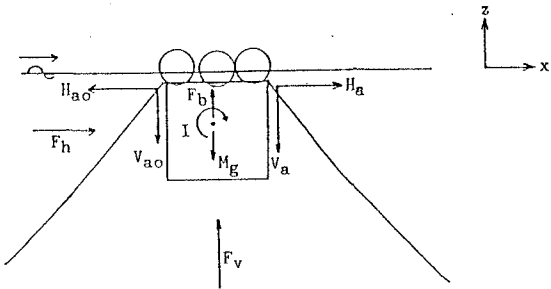


図-3 作用外力と座標系

($T = 1.0 \text{ sec}$ $H = 2.8 \text{ cm}$)

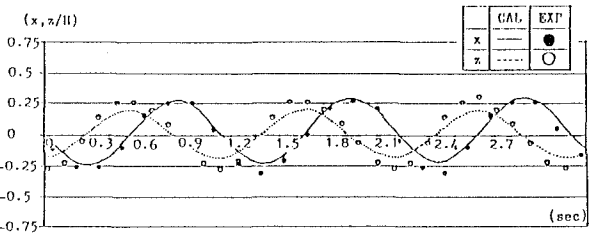


図-4 いけす施設の波浪動揺

($T = 2.0 \text{ sec}$ $H = 3.3 \text{ cm}$)

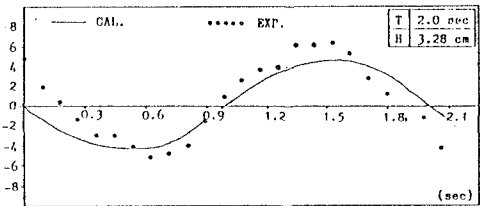


図-5 いけす施設の回転量

図-4および図-5は、それぞれ、緊張係留条件において数値計算から求められたいけす施設のヒープ、スウェイならびにピッチの各動揺量の時間的変化を示したもので、図中の丸印は同じ条件での実験結果を示している。さて、図-4から、ヒーピングならびにスウェイのいずれも実験結果とよく一致しており、よく現象を再現しているといえる。また、重心回りの回転量の時間的変化も、ピーク付近で、やや計算値が小さく現れているが、全般的によく実験結果と一致している。ほぼ、同じ条件で、弛緩係留に対しても計算結果と実験結果との比較を行った結果、ヒーピング、スウェイに関しては、やや計算精度が低下するものの、ピッチングについてはよく一致することがわかった。

以上の事から、ここで誘導した、いけす施設の波浪応答モデルで、ほぼいけす施設の運動特性を予測し売ることがわかった。

3. 養殖いけす施設の動揺観測システムの開発

3. 1 観測システムの概要

これまで、現地での波浪による動揺観測に関しては、著者らはすでに延縄式養殖施設を対象とした動揺観測システムを開発し、実際に動揺観測を行ってきた。しかしこれまでのシステムは、単に鉛直方向の振動量を測定することを目的としたものであり、鉛直方向の加速度成分を測定するためのものであった。この研究では、さらに測定項目を増やし、動揺観測精度を向上させたものである。すなわち、加速度に関しては水平方向2成分、鉛直方向1成分の計3成分の測定ならびに2成分傾斜計および方位計によって、各軸回りの回転量を測定するものである。

図-6は、観測システムを模式的に示したものである。観測機器は、防水処理を施した、樹脂製の函体に納められている。函体中には、加速度計（TEAC社製、TA-AR）、2成分傾斜計（アレック社製、ACO-200）ならびに方位計（アレック社製、AC-2）が固定されている。これら各計器からの出力は、カセットデータレコーダ（TEAC社製 HR-40）を用いて収録された。

加速度計は、ひずみゲージ方式によるもので、測定範囲はDC（0Hz）～60Hzである。従って長周期から短周期までの施設動揺を精度よく計測できる。各成分の加速度計は、ジンバル（人工水平器）に登載されている。したがって、いけす施設本体が波浪で傾斜する際も常に鉛直方向ならびに水平方向の加速度成分が計測されることになる。傾斜計は、計器内部の電解液の移動による抵抗変化を検出して、2成分の傾斜角を測定するもので、2成分共に、±70度の検出範囲がある。一方、方位検出器は、内部の複数のホール素子コンパスにより、0度～360度の範囲で、非接触で連続的に円滑な方位電圧を得ることができる。さらにまた、測定・記録の開始ならびに終了を制御する24時間タイマー（トーアPAクオートタイマー）ならびに加速度計用の増幅器およびバッテリーが収納されている。

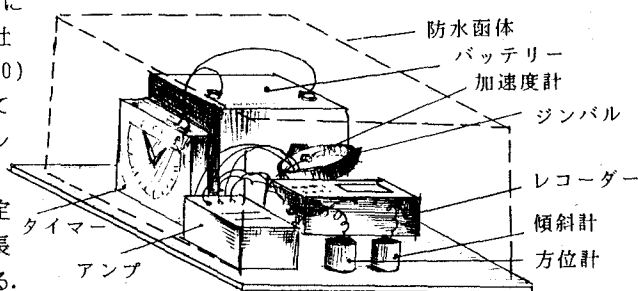


図-6 観測装置の概要

3. 2 観測記録の解析方法

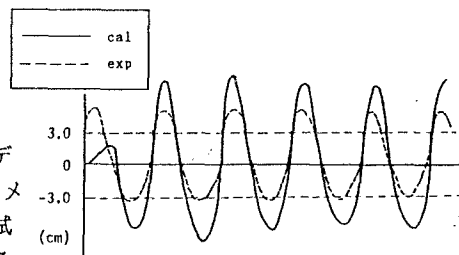
カセットテープに記録された加速度、傾斜ならびに方位データは、デジタルレコーダによって、変換され解析処理された。これらのデータのなかで加速度記録の処理については、線形加速度法、デュアメル積分法（応答スペクトル法）ならびにFFT法の3種類の方法を試み、実験結果と比較した。各計算法の結果を示したのが図-7であるが、デュアメル積分方法では、振動する函体の固有振動数ならびに減衰振動数を計測するか仮定する必要があるが、必ずしも高精度の積分が期待できないことが明かとなった。また、FFT法は、比較的精度よく観測函体の動揺を与えることがわかったが、観測時間が長くなると、その解析時間が長くなる欠点を有しているため、FFT法とほぼ等しい精度を有する線形加速度法を採用した。

線形加速度法の手順はつぎに示すようになる。図-8は、時刻 t_m から t_{m+1} の Δt の間の加速度の変化を示したものである。このとき、 Δt 時間内の加速度は次式で与えられる。

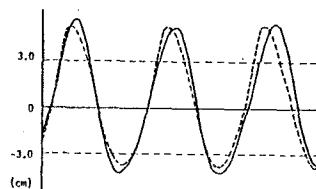
$$\ddot{y}_t = \ddot{y}_m + (1/\Delta t) (\dot{y}_m - \dot{y}_{m+1}) (t - t_m) \quad (5)$$

ここに、 $\ddot{y}_m$ は時刻 t_m での加速度を表し、 t は時間を表している。

したがって、式(5)を時間に関して $t=0$ から t_m まで積分を行えば、変位量 y が算定される。このとき、各積分において適切な初期条件を与える必要がある。ここでは、加速度がピーク値をとる位相で、初期速度を0とし、さらにさらに次のピーク値までの積分値が0となるように初期値を与えた。図-9は、その手順を示したものである。



デュアメル積分法



FFT法

図-7 各計算結果の比較

ある。まず、加速度がピーク値をとる位相①を求め、次のピーク値②まで加速度記録を数値積分する。このとき初期速度は0とする。同様の手順で、加速度がピーク値をとる区間毎に積分操作を行ない速度波形を求めた。また変位波形についても同様の方法で積分して求めた。

図-10は、実験水槽に観測システムを係留し、3種類の規則波を作用させて得られた結果を示したもので、鉛直加速

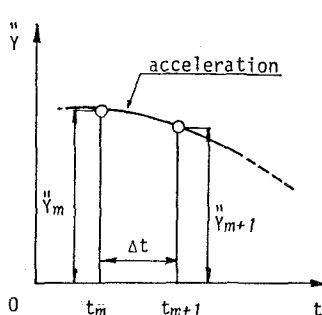


図-8 加速度記録

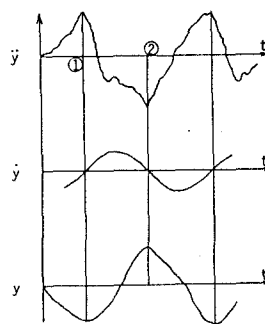


図-9 積分過程

度記録から算定した計算変位量ならびにビデオ解析から求めた実測変位量の時間的変化を比較したものである。この図で、実測変位量と計算値とは、大半の位相で一致していることがわかるが、波の峰および谷の位相で、若干の差異が認められる。さらに広範な波浪条件で両者の比較を行った結果、ほぼ10%以内の精度で、動揺観測が可能であることがわかった。図-11は、実験から得られた鉛直ならびに水平方向の加速度記録ならびに傾斜計および方位計の記録から算定した一例を示したもので、各動揺成分並びに回転成分の時間的変化を示したものである。

4. おわりに

この論文では、平面網地の抗力算定式を用いて、いけす施設の運動方程式から波動場における動揺量を算定した。その結果、網地に作用する流体力は、抗力が卓越するため、網地に作用する流体力の算定においては、式(1)でよく流体力が再現できることがわかった。また、ここで導いた波浪応答解析モデルで、緊張係留に関してはほぼ、十分な精度で動揺量の算定が可能であること、しかし弛緩係留に関しては、約50%程度、過大に計算されることが明かとなった。さらに、高精度の現地観測システムを開発し、波動水槽での精度の検証を行った。その結果、現地でのいけす施設の水平・鉛直動揺ならびに各軸回りの回転量の観測がほぼ十分な精度で行えることから、精度の高い3次元動揺測定が十分可能である見通しが得られた。今後、現地での観測を行うとともに、ここで導いた応答モデルによるシミュレーションをも行ない、検討を加えていく予定である。

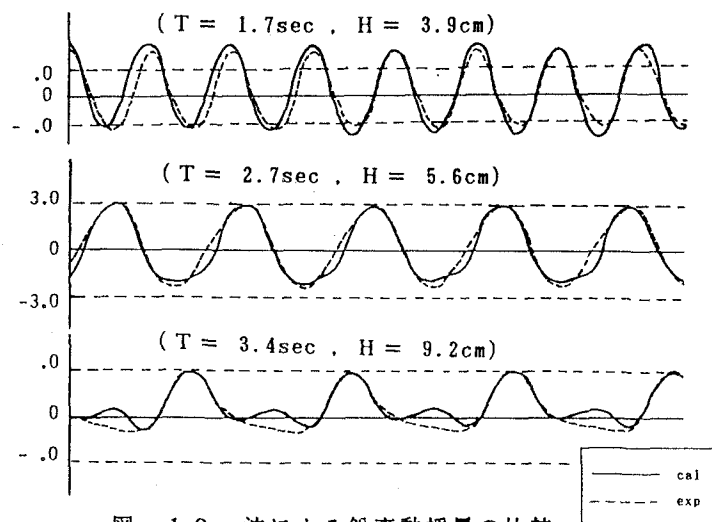


図-10 波による鉛直動揺量の比較

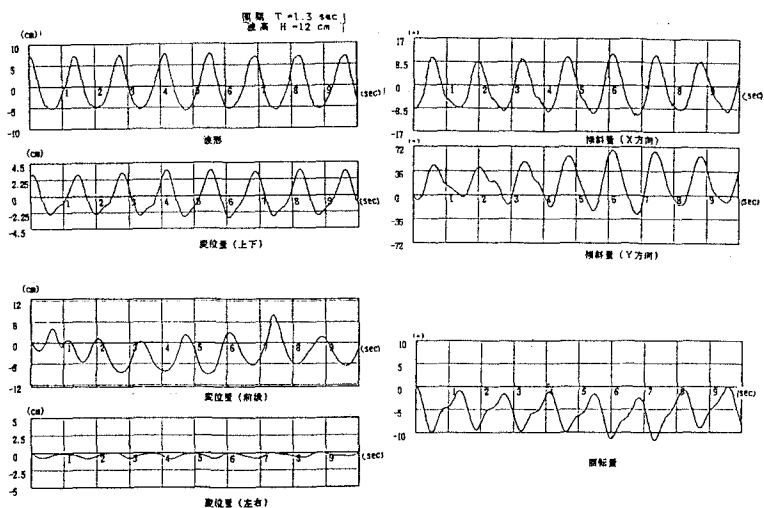


図-11 解析された動揺記録の一例

参考文献

- 1) 農林統計協会編：図説漁業白書平成1年度
- 2) 全国沿岸漁業進行開発協会：沿岸漁業整備開発事業構造物設計指針，昭和59年度版
- 3) 松原雄平・野田英明・西平福宏：外海養殖いけす施設の波による動的応答に関する研究，海岸工学論文集，第37巻，1990