

浮魚礁の実用化に関する研究

松原雄平*・野田英明**

1. 緒 言

浮魚礁は、沖合い海域の中層に集魚操置を潜水係留し回遊性魚介類の謂集・帯留を図る人工魚礁のひとつである。現在、わが国の沿岸水域数ヶ所に試験的に浮魚礁が設置され魚介類の謂集・帯留効果、魚獲効果等に関する調査が進められつつある。しかし一方では、波力あるいは潮流力による浮魚礁施設の流失も数例報告されており中層浮魚礁の設計方法の確立が急務となっている。

著者らは、これまで波と浮魚礁との動的応答問題を取り扱い、基本的問題として円柱浮魚礁モデルの変位ならびに係留索留力について検討した結果をすでに報告してきた^{1,2)}。また木村³⁾も同様の現象に関して理論的実験的に研究を行なっている。これらの研究はいずれも、形状の簡単な円柱浮体を用い、しかも浮体の内部に流体の出入りを許さない条件下で、波と浮体の動的応答を考察したものである。しかし、実際の浮魚礁の多くは、浮体内部の通水性が良く、かつ複雑な断面形状を有している。したがって、上述の理想化されたモデルから得た知見を、実際の浮魚礁施設の設計に十分に反映させるためには、さらに詳細に検討を加える必要がある。

そこで、本研究では、魚礁モデルとして、より実物浮魚礁の形状に近い中空角柱魚礁モデルを用いて、種々の浮体寸法、設置水深、ならびに波の条件から得られる浮体の最大変位置、最大索張力について理論的ならびに実験的に考察を加える。さらに、従来明らかにされていなかった浮魚礁周辺の流体運動と、それにより励起される浮体運動の関係についても着色水により魚礁周辺の流況の可視化を行なった結果、いくつかの興味ある結果を得たので、ここに報告する。

2. 浮体の最大変位置、最大索張力の支配的要因

図-1は、海底の1点でアンカーされた中層浮魚礁が、波の作用により水平方向に移動している状況を模式的に示したものである。浮体重心の水平方向の最大変位置

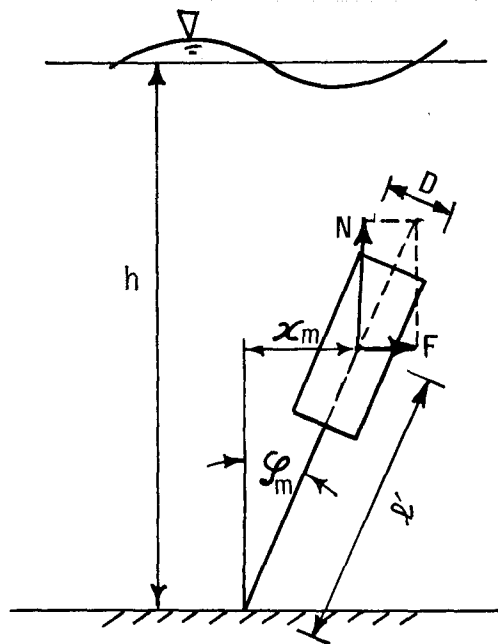


図-1 浮魚礁模式図

x_m は、 φ_m を浮体中立位置から測った最大係留索角とすると

$$x_m = \varphi_m \cdot l' \quad \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる。ここに l' : 浮体重心より水底までの距離である。また φ_m は、 $\varphi_m < 1$ とし、近似的に次式

$$\varphi_m \simeq F_H / N \quad \dots\dots\dots (2)$$

で表わされるものとする。ここに F_H は、浮体に水平方向に作用する波力であって、モリソン式により

$$F_H = C_M \rho V_0 \frac{du}{dt} + C_D \frac{\rho}{2} \cdot D \cdot L_a u \cdot |u| \quad \dots\dots (3)$$

で表わされる。ここに、 C_M 、 C_D はそれぞれ、慣性力係数、抗力係数であり、 ρ : 流体の密度、 V_0 : 浮体容積、 D : 浮体直径、 L_a : 浮体の高さ、 u : 水平方向水粒子速度の最大値である。また、 N は浮力から浮体重量を差し引いた余剰浮力であり、 $N = (\rho - \rho_0)gV_0$ で表わされる。ここに ρ_0 : 浮体密度、 g : 重力加速度である。式(3)を整理し、無次元表示すると

* 正会員 工修 鳥取大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 工博 鳥取大学教授 工学部海洋土木工学科

$$\varphi_m l' / h = \left\{ C_M \frac{U_0 T}{D} \frac{D}{L_a} \frac{du'}{dt'} + C_D \left(\frac{U_0 T}{D} \right)^2 \frac{D}{L_a} u' |u'| \right\} / (1 - \rho / \rho_0) \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。ここに L_a は浮体長、 u' 、 t' は無次元量で、それぞれ、 $u' = u/U_0$ 、 $t' = t/T$ である。いま代表流速として U_0 を浮体重心位置における水平水粒子速度の最大値に選べば浮体の最大変位量は、以下のように表わされる。

$$\varphi_m(l'/h) = f_1(D/L_a, U_0 T/D) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに T は波の周期である。

一方、最大係留索張力は、従来の研究より、水平方向流体力 F_H 、鉛直方向の流体力 F_V 、浮体の回転運動にともなう遠心力 F_C および余剰浮力 N のつり合いから

$$T_l = \sqrt{(F_V + N)^2 + F_H^2} + F_C - N \quad \dots\dots\dots (6)$$

と表わされる。ここに鉛直方向の流体力は抗力成分を無視して $F_V = C_M \cdot \rho \cdot V_0 \frac{dv}{dt}$ で与える。 v ：鉛直方向の水粒子速度の最大値、 $F_C = (\rho_s + K\rho)V_0(\dot{\varphi}_m)^2 l$ (K ：仮想質量係数)である。式(6)の両辺を N で無次元化し整理すると

$$T_l / N (sgD / U_0^2) = \sqrt{\left\{ \frac{v}{u} \left(\frac{D\omega}{u} \right) + \frac{sgD}{u^2} \right\}^2 + \left\{ \left(\frac{2}{\pi} C_D \right)^2 + \left(C_M \frac{D\omega}{u} \right)^2 \right\}^2} + C_M \varphi_m^2 \left(\frac{D\omega}{u} \right)^2 \frac{l}{D} - \frac{sgD}{u^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。これより無次元最大係留索張力は、式(4)と同様に

$$(T_l / N)(sgD / u_0^2) = f_2(D / L_a, U_0 T / D) \quad \dots\dots\dots (8)$$

で表わされる。

以上の結果より、浮体の最大変位量および最大係留索張力は、いずれも浮体の細長比 D/L_a 、K-C 数 $U_0 T/D$ の関数として表わされることがわかる。そこで、これらの関数関係を明らかにするため実験を行なった。

実験は、長さ 24 m、幅 0.6 m、深さ 1.1 m の 2 次元銅製波動水槽を用いて行なった。水槽の一端に勾配 1/10 の斜面を設け、その上に消波工を敷き、反射率を 10% 以下におさえた。図-2 は、実験に用いた中空六角柱浮魚礁モデルを示したものである。浮体の形状特性量として、細長比 D/L_a をとり、 D/L_a の異なる 3 浮体について実験を行なった。表-1 に浮体特性量を示す。これら 3 種類の浮体の設置水深を、上層、中層および下層の 3 点とし、そのおのおのについて 9 ケースの波を作用させ、81 ケースの実験を行なった。浮体の変位量ならびに水面波形は、水槽外部よりビデオカメラで撮影し、少なくとも 2 波以上の記録について解析し、各位相ごとに平均した。一方、係留索張力の測定は、水槽底面に 4 枚のひずみゲージを貼付した張力計を設置し、これに浮体を係留して行なった。索張力の記録は、同じ地点に設置した容量式波高計の記録とともにデータレコーダに収録し解

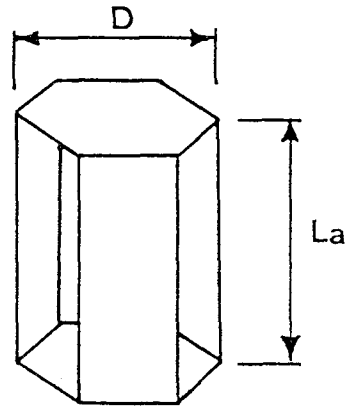


図-2 中空六角柱浮魚礁モデル

表-1 浮体特性

浮 体	A	B	C
D (cm)	3	5	8
L_a (cm)	22	20	15
V_0 (cm ³)	110	135	165
ρ_0 ($\times 10^{-4}$ gf·sec ² /cm ⁴)	4.68	6.37	7.17

析した。

また魚礁周辺部の流況は、着色水をノズルより魚礁周辺に流し込み、その着色水のつくり出す流況をビデオカメラを用いて撮影し、逐一詳細に解析した。

実験波の特性は、水深を 55.0 cm と一定にして入射波高 1.1 cm~10.1 cm、波の周期 $T=1.0\sim3.0$ sec の範囲に設定した。

3. 実験結果の検討および考察

浮体の最大変位量：図-3 および 図-4 は、それぞれ今回の一連の実験から得られた浮体 A ならびに浮体 C の水平方向最大変位量と $U_0 T/D$ との関係を、 D/L_a をパラメータとして、設置水深ごとに表わしたものである。また 図-5 は、従来著者らが円柱浮体を用いて行なった実験結果を示したものである。

図-3 および 図-4 より、実験結果に若干のばらつきが見られるものの、浮体 A、浮体 C のいずれの場合も、 $U_0 T/D$ の増加にともなって、浮体の最大変位量が増大することがわかる。この傾向は、図-5 の円柱浮体の実験結果においても明らかであり、浮体形状、浮体特性にかかわらず、 $\varphi_m l' / h$ 、 $U_0 T/D$ の間に一定の関係が存在することがわかる。一方、浮体変位量と細長比 D/L_a の関係は D/L_a の値が大きくなるにつれ、浮体変位量が増大する傾向を示している。さらに注目すべき点として、図-3 および 図-5 において、 $U_0 T/D > 7$ の領域では、 $U_0 T/D$ の増加にもかかわらず、浮体変位量が一定となることがわかる。

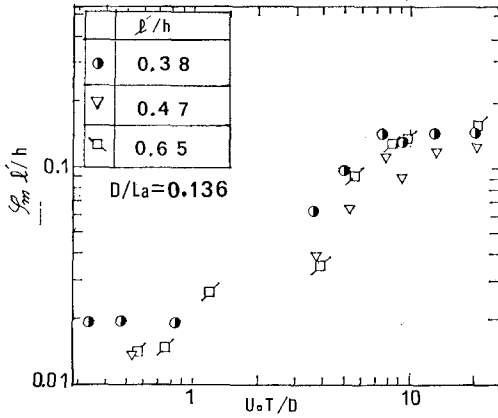


図-3 浮体最大変位量と $U_0 T/D$ の関係 (浮体 A)

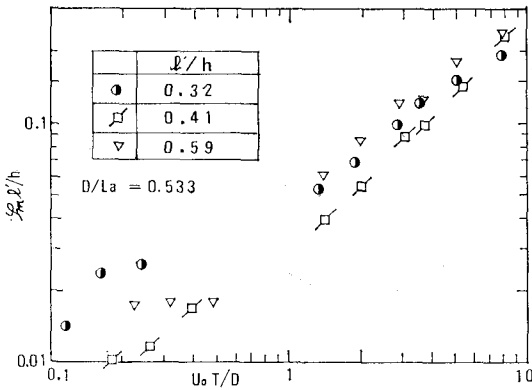


図-4 浮体最大変位量と $U_0 T/D$ の関係 (浮体 C)

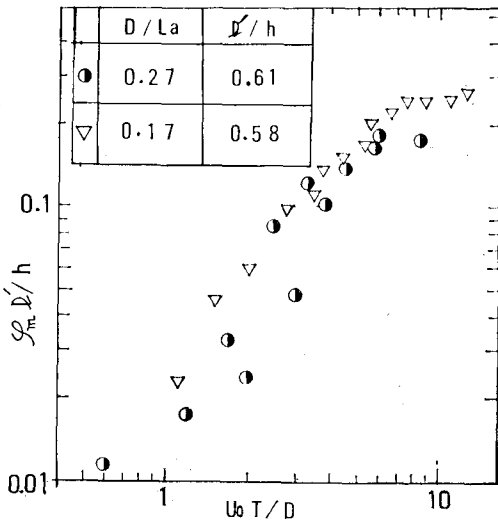


図-5 浮体最大変位量と $U_0 T/D$ の関係 (円柱浮体)

これは波による浮体の最大水平変位量に上限値が存在することを示している。また、角柱浮体の場合 $U_0 T/D < 1$ の領域で実験値がばらついているが、この原因として、浮体変位の解析時の誤差も含まれるが、現在のところ

明らかでない。

最大係留索張力: 図-6 および 図-7 は、浮体 A および浮体 C の最大索張力の測定結果と $U_0 T/D$ との関係を、 D/La をパラメータにとり、3 ケースの設置水深ごとに示したものである。これらの図から浮体 A および浮体 C のいずれの場合も無次元最大索張力は、 $U_0 T/D$ の増加とともに、直線的に減少すること、 D/La の値が大きくなるにつれ、無次元最大索張力も増大することなどがわかる。以上のことより、無次元最大索張力 $(T_t/N) \cdot (sgD/U_0^2)$ は、式 (8) に示した無次元量 $U_0 T/D$ 、 D/La の関数として表わされることがわかる。しかし $U_0 T/D > 5$ の領域では実験結果にばらつきが見られ、この領域で他の物理量が支配的となっているとも考えられる。こ

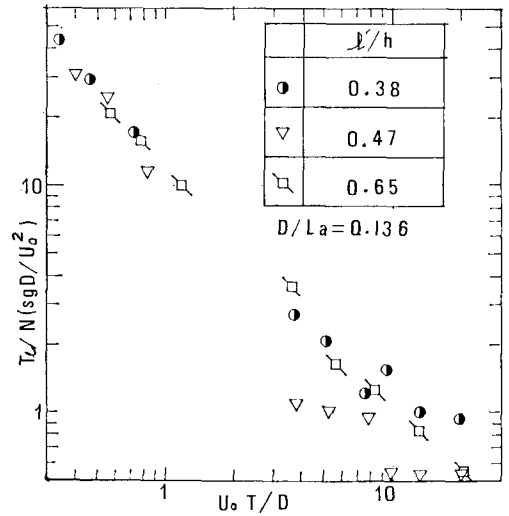


図-6 最大索張力と $U_0 T/D$ の関係 (浮体 A)

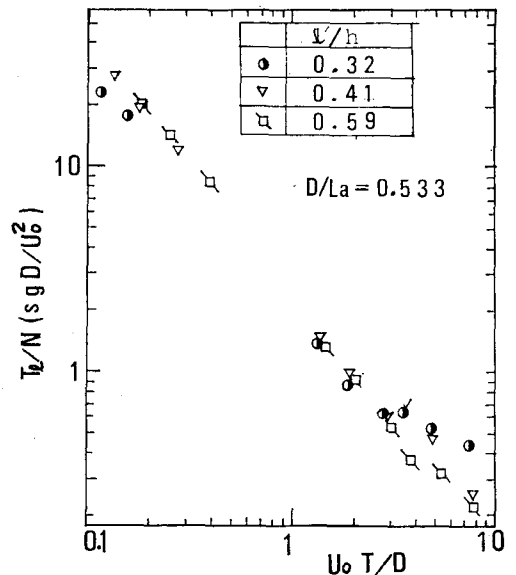
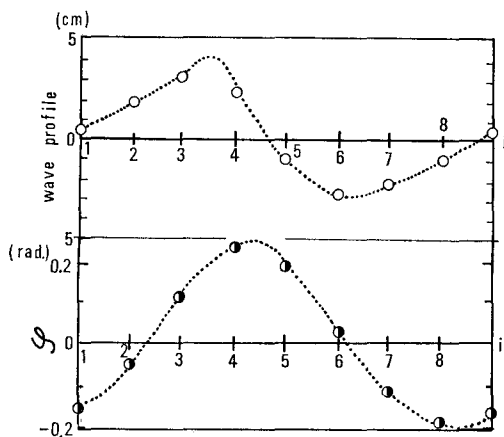


図-7 最大索張力と $U_0 T/D$ の関係 (浮体 C)

の点については、さらに検討する必要がある。

4. 浮魚礁周辺の流況の可視化

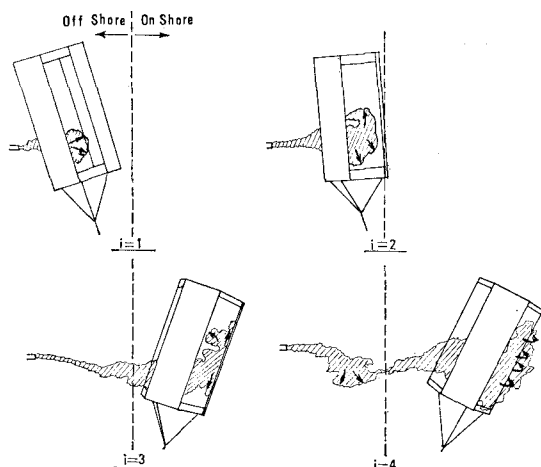
前述のように、浮体変位量、最大索張力の実験結果の一部には、なお、ばらつきが見られた。その一因として、本研究に用いた魚礁モデルが中空断面を有していることが考えられる。そこで着色水により魚礁周辺の流況を可視化した。しかし浮体が周辺の流体と相対速度を有して運動することから、その流況の可視化が困難であり、定量的評価をするまでには至らなかった。ここでは、 $T=3.0\text{ sec}$ 、 $H_t=6.7\text{ cm}$ の条件下における浮体 C の運動の観察結果を定性的に述べるにとどめる。



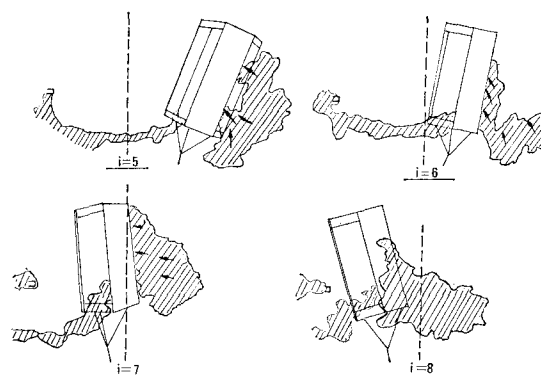
図—8 表面波形と浮体変位量の時間的変化

図—8 は、同じ条件で測定された表面波形と係留索角 φ の時間的変化を波の周期について示したものである。図中の番号は、波の位相と流況の時間的変化を関係づけるために示したものである。また、ビデオカメラは、1 sec 間に 60 コマの速さで流況を撮影する。したがって、波の一周期で、180 コマとなる。図—9 (a) および図—9 (b) は得られた 180 コマの撮影結果から 22 コマ (約 1/8 周期) 間隔にビデオ解析装置から写しとった浮魚礁周辺部の流況を示したものである。図中の斜線部は、着色料を示し、破線は中立時、すなわち $\varphi=0$ の時の浮体中心軸の位置を示している。

図—9 (a) において、 $i=1$ は、水平水粒子速度が沖向きから岸向きに変化する直前の位相であり、このとき、すでに浮体の移動方向は沖向きから岸向きに変化している。ノズルより着色水を流出させると、着色水は浮体内部に拡散しはじめる。 $i=2\sim3$ にかけて、岸向き水粒子速度が徐々に増加するにつれ、浮体内部の着色水は、浮体側壁に沿って、鉛直方向に拡がる。 $i=4$ で、浮体変位量は岸向きに最大になる。しかし、このとき水粒子の移動方向はなお岸向きであるから、浮体内部の着色水が一時に外部へと放出される。このとき、浮体側壁背部に



図—9 (a) 浮魚礁周辺の流況



図—9 (b) 浮魚礁周辺の流況

発生する渦に、着色水の一部がまき込まれる。 $i=5$ で、水粒子の移動方向が岸向きから沖向きへ変化すると、いったん浮体外部へ放出された着色水の一部が再び浮体内部へと流入している。 $i=6$ で水粒子速度が沖向きにほぼ最大となる位相では、浮体はその背部に着色水をとまって沖向きに運動している。沖向き水粒子速度が減少しはじめる $i=7$ では、浮体背部の着色水は、一部拡散沈降するが、大部分は浮体背部にとじこめられて移動する。さらに沖向き流速が小さくなる $i=8$ で、浮体背部にとじこめられていた着色水は、拡散沈降する。また $i=4$ から $i=8$ までの間、浮体の水平方向の運動にともなう浮体中心軸まわりの回転運動が観察された。

このような浮体と流体とが相対速度を有することに生ずる渦や浮体の回転運動は、当然、浮体の最大変位量や最大索張力と関係しており、今回の実験結果のばらつきの原因と考えられる。また従来より、魚介類が魚礁に謂集する原因の一つとして渦の発生による魚介類の聴覚視激が挙げられている。したがって、ここで観察された魚礁周辺の渦は、浮魚礁の集魚機能にも関係するものと考えられ興味深い。しかし定量的評価が困難であったこと

や、流況の観察例も多くないことから、浮体運動と流体運動との関係を完全に明らかにするまでには至らなかった。今後流況の可視化法を改良し、定量的評価を含めた流況の観察例を蓄積して、浮体と流体の運動特性を明らかにする必要がある。

5. 結 語

本研究では、波の作用によって生じる浮魚礁浮体部の変位ならびに索張力について主として実験的に検討を行った。得られた結果を要約すると以下のようである。

- (1) 浮体の最大変位量ならびに最大索張力は、いづれも浮体の細長比 D/L_a 、K-C 数 $U_0 T/D$ の関数として表わされることがわかった。

- (2) 浮体近傍の流況の可視化を行なった結果、浮体側壁背部に渦が発生すること、浮体の水平方向の運動とともに浮体中心軸まわりの回転運動が存在することがわかった。

参 考 文 献

- 1) 野田英明・松原雄平：浮魚礁に関する研究(1)——波による動的応答——鳥取大学工学部研究報告，第11巻，第1号，pp. 230～236，1980。
- 2) 松原雄平・野田英明：浮魚礁に関する研究，第28回海岸工学講演会論文集，pp. 387～391，1978。
- 3) 木村晴保：波によって生ずる浮魚礁の係留索張力，第25回海岸工学講演会論文集，pp. 612～616，1978。