

中層浮体（浮魚礁）の係留ロープの張力に関する研究

宗 景 志 浩 ・ 小 原 昭

(農学部水産土木学研究室)

Studies on Tension Force of Mooring Line of Floating Fish Banks ("Ukigyosho") Moored in the Middle Layer of Water Subjected to Waves

Yukihiro MUNEKAGE and Akira OHARA

Laboratory of Fisheries Engineering, Faculty of Agriculture

Abstract: A floating fish bank "Ukigyosho" is one of the artificial fish banks, set up in the middle layer in the ocean at a depth of about 100 meters. These floating fish banks were developed for collecting and cultivating migratory fish living in the middle layer on the continental shelf.

Very little research on the motion of floating bodies moored in the middle layer of the water has been done. As a result, it is very difficult to design these structures. The authors carried out an experimental study on the characteristics of the motions of floating fish banks moored in the middle layer of the water subjected to waves.

The tension forces on the mooring line were measured and recorded. Huge impact forces act on the mooring line of floating body with only a little surplus buoyancy setting at the middle layer. These forces are greatest when the wave frequency corresponds to the natural oscillation period of floating body. It is therefore advisable to avoid this natural oscillation frequency in designing such structures. Also a surplus buoyancy ratio of more than 1 : 1, i. e. a buoyancy of more than twice a weight in water of "Ukigyosho", is advisable to avoid the strong shocks. These large surplus buoyancy conditions receive shocks on the order of 1/10 those of low surplus buoyancy conditions.

緒 言

浮魚礁とは中層魚の集魚を目的として、水深 100 m 前後の海域の中層に設置した人工魚礁のことである。人工魚礁としての浮魚礁は、その開発の歴史も浅く、現在もまだ、開発と改良の段階であり、その効果についてもようやく調査が進められるようになったにすぎない^{1),2)}。

海域の中層に係留された構造物に関する力学的な研究はほとんどなく、まして様々な形状の考えられる浮魚礁の係留ロープに働く張力についてはほとんど見あたらない³⁾。

そこで、著者らは、photo. 1. に示すような上部に浮子をもつ中空円筒カゴ状の浮魚礁の模型を使って、波浪の中での浮体構造物の運動と係留ロープに働く張力についての実験的な研究を行なった。

実 験 方 法

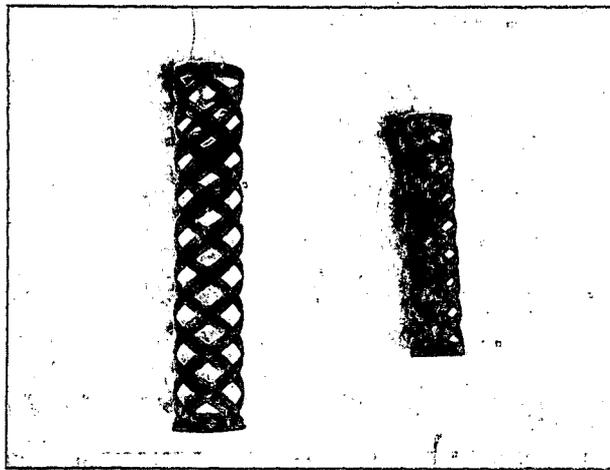
1) 実 験 装 置

実験に使用した水槽は、一端にフラッター型造波装置を備え、長さ 20 m、幅 2 m、深さ 1.5 m のコンクリート製で、一方の側面にガラス張り観測部分を有する。実験に用いた模型波は、波長 $L=54\sim 728$ cm、波高 $H=3.3\sim 27.8$ cm、Steepness $H/L=0.010\sim 0.110$ 、周期 $T=0.59\sim 2.68$ 秒の範囲のもの約 20 種類を使用した。

2) 浮魚礁の模型

本実験では、photo. 1. に見られるような形状をもつ2種類の浮魚礁の模型を使用した。まず、模型-Iの場合、円筒の直径 $d = 6.5$ cm, 長さ $l = 35.4$ cm, 体積 $V \approx 1174$ cm³, 空中重量 85 g, 水中重量 35 g である。模型-IIの場合、 $d = 4.9$ cm, $l = 23.9$ cm, $V = 450$ cm³, 空中重量 55 g, 水中重量 23 g である。これら2種類の円筒状 F. R. P 製浮魚礁の模型に対して、Table 1. に示すように、余剰浮力を種々に変化させた実験を行ない、波浪中での係留ロープに作用する張力を測定した。

張力計は、ストレンゲージをリン青銅板に貼り付け、防水加工したものを自作し、動歪計を通して波形と同時にペン書きオシログラフに記録させた。(Fig. 1. 参照)



Model - I Model - II
Photo. 1. Model of floating fish bank.

Table 1. Surplus buoyancy ratios of the model floating fish banks.

	Model - I		Model - II		
Weight in water (WB) of the model	35 g		23 g		
	buoyancy (WA)	Surplus buoyancy ratio $\frac{WA - WB}{WB}$	buoyancy (WA)	Surplus buoyancy ratio $\frac{WA - WB}{WB}$	
EX - 1	38.6	0.10	EX - 8	26.5	0.15
2	42.4	0.21	9	37.1	0.61
3	53.0	0.51	10	47.7	1.07
4	74.2	1.12	11	68.9	2.00
5	106.0	2.03	12	95.2	3.15
6	140.5	3.01			
7	169.6	3.85			

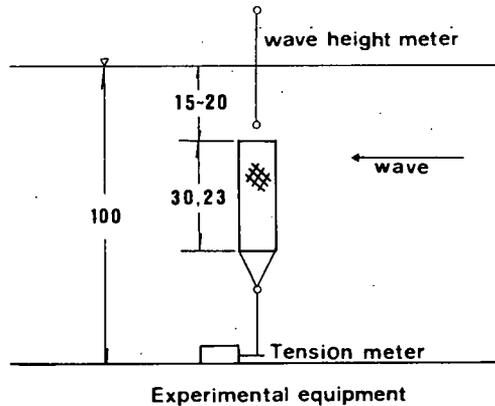


Fig. 1. Method of experiments.

実験結果とその考察

浮体礁本体の浮力や波長および周期、係留方法などの違いによって、浮体礁の運動の仕方も複雑に変化し、係留ロープに働く張力もその特徴に従って大きく変動する。

そこで係留ロープに働く張力に対して、種々の物理量がどのような影響を与えているかを、まず次元解析によって推察する。

張力Fは次のように仮定される。

$$F = f(D, L, H, T, W_A, W_B, \rho, \mu, g, h) \dots\dots\dots (1)$$

- D = 物体の代表的長さ,
- L = 波長,
- T = 波の周期,
- H = 波の波高,
- W_A = 浮子の浮力,
- W_B = 魚礁の水中重量; 余剰浮力 W = W_A - W_B
- h = 水深,
- ρ = 流体密度,
- μ = 流体粘度,
- g = 重力加速度,

ここでは、水中重量は異なるが、ほぼ相似な2種類の模型について、それぞれの余剰浮力を変化させただけであるから、粘性の効果を無視し、影響のあるものに注目して整理して、係留ロープの張力を次式で解析してみる。

$$F_T/W = f(H/L, W/W_B, T\sqrt{g/h}) \dots\dots\dots (2)$$

実験結果を(2)式に従って整理すれば、Fig. 2,1~Fig. 2,2. の様になる。ここでは縦軸に F_T/W, 横軸に T√g/h, パラメーターとして W/W_B をとり、Steepness H/L を4種類に分け、その範囲ごとにグラフ化した。図から分かるように、F_T/W と W/W_B との関係は、相対余剰浮力 W/W_B の値が大きくなるのに従って F_T/W の値が減少し、W/W_B ≒ 1 (∴ W_A/W_B ≒ 2) 付近で安定してくる。このことから、浮体礁本体の水中重量に対して、その余剰浮力を1以上に大きくすれば、

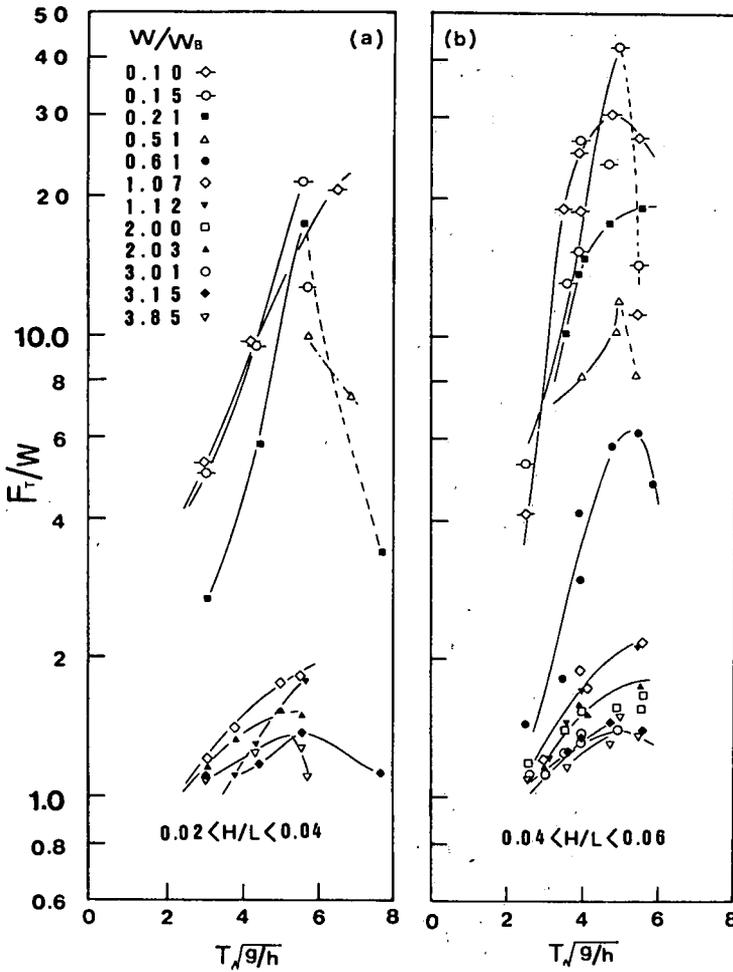


Fig. 2,1. Tension force acting upon the mooring line. Decreasing the value of surplus buoyancy ratio W/W_B under 1.0 results in huge tension forces acting upon the mooring line. The resonance between waves and the floating body can be found at the point of $T\sqrt{g/h} \approx 5.0$.

F_T/W は小さくなり、張力を小さくすることができる。

次に Steepness H/L について考察する。Fig. 2,1. および Fig. 2,2. の(a), (b), (c), (d) を比較すれば、 H/L が大きくなるに従って、 F_T/W と $T\sqrt{g/h}$ の相関は、より強くなってくる。このことは、施設に加わる波の Steepness が増大することによって、係留ロープに働く張力も大きくなることを意味している。

しかし、実験上 $H/L < 0.06$ の範囲で各々の W/W_B についてみると、 $T\sqrt{g/h}$ に伴って張力は増大するが、特定の $T\sqrt{g/h}$ の値で張力の増加が認められなくなることには注意しなくてはならない。この $T\sqrt{g/h}$ の付近に、浮魚礁本体の固有振動周期があるものと考えられる。つまり波の周期と浮魚礁本体の固有振動周期が一致した場合係留ロープに大きな力が作用するものと考えられる。

次に測定記録から張力の現われ方を考察してみる。余剰浮力が充分大きい場合、係留ロープの張

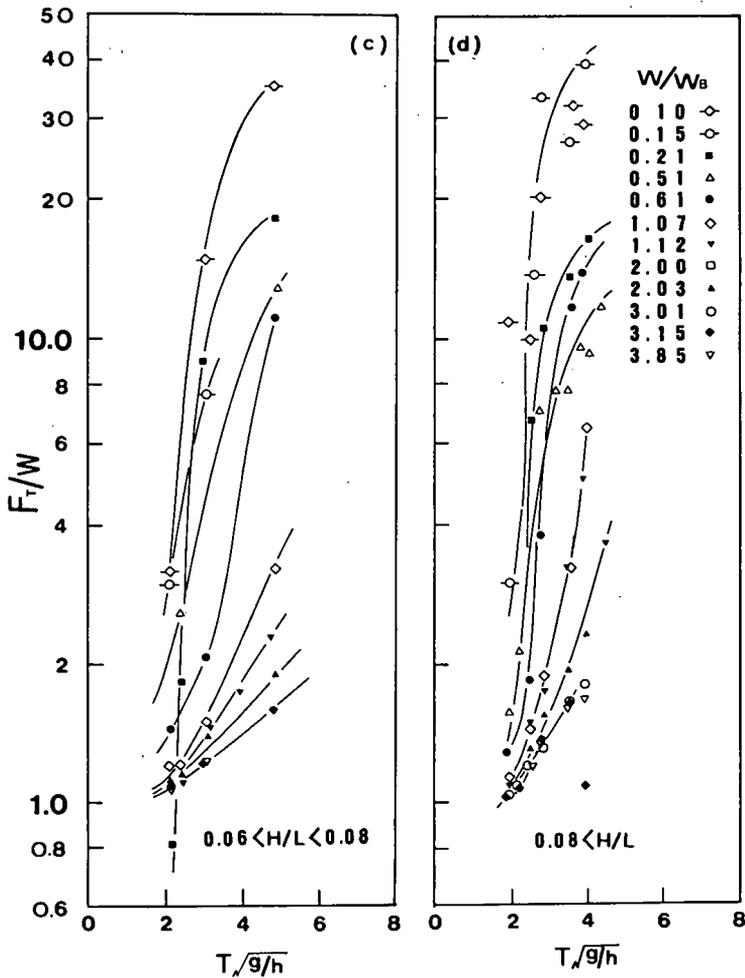


Fig. 2.2. Tension force acting upon the mooring line. Decreasing the value of surplus buoyancy ratio W/W_B under 1.0 results in huge tension force acting upon the mooring line.

力は、Fig. 3、および Fig. 4. の(b)のように波形によく似た現われ方をするが、余剰浮力の小さい場合、Fig. 3、および Fig. 4. の(a)のような周期的なパルス状の衝撃力となって現われる。これは波の通過によって係留ロープが弛緩し、次の波が到達し、波の上向慣性力により浮体が急激に上昇させられ、係留ロープの伸張する時、係留ロープに衝撃力が生じるためである。 W/W_B の値が 0.61 付近から、張力は波形状のものからパルス状の衝撃力に移行し始め、 W/W_B がより小さくなるとパルス状の衝撃力が主体となる。この衝撃力は、係留ロープの連結部およびロープ自体の破損の原因となるため、実際の設計の際には避けるべきである。

さらに余剰浮力が小さくなって、 $W/W_B \approx 0.10, 0.15$ の場合、張力の現われ方は、Fig 4 の(a)のように、2 波長に 1 つだけのパルス状の衝撃力が生じるようになる。この場合は、浮体の水平方向の運動（移動）がきわめて大きくなり、波の運動に追随しなくなる。しかしこの場合、張力は 1 波長おきに、大きな衝撃力となって現われる。

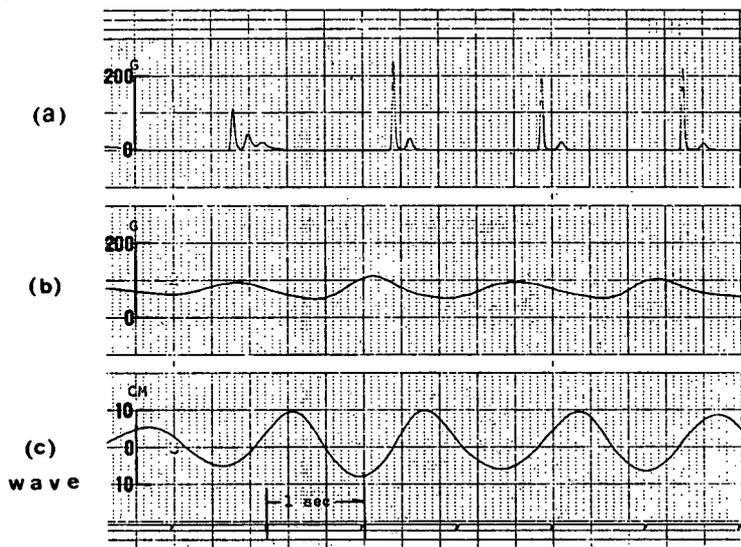


Fig. 3. Records of waves and tension forces on mooring line of floating fish bank.

- (a) shows the impact force acting upon the mooring line when the surplus buoyancy of model-I is $W/WB=0.21$.
- (b) shows the tension force like a wave's shape acting upon a mooring line when the surplus buoyancy of model-II is $W/WB=3.13$.
- (c) shows the wave shape. Wave height $H=15.8$ cm, Wave length $L=334$ cm, Wave period $T=1.5$ sec., Steepness $H/L=0.045$.

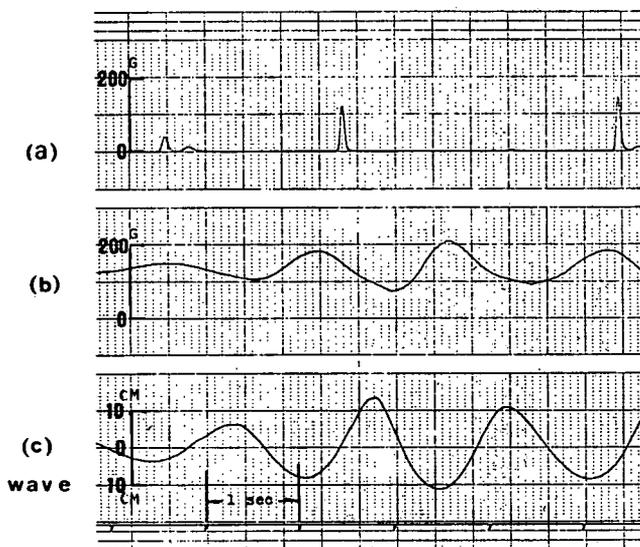


Fig. 4. Records of waves and tension forces on mooring line of floating fish bank.

- (a) shows the impact force acting upon a mooring line when the surplus buoyancy of model -II is $W/WB=0.15$. Only one impact force appears in two wave periods.
- (b) shows the tension force like wave shape acting upon a mooring line when the surplus buoyancy of model-I is $W/WB=3.82$.
- (c) shows the wave shape. Wave height $H=15.8$ cm, Wave length $L=361$ cm, wave period $T=1.57$ sec., Steepness $H/L=0.056$.

結 論

- 1) 浮魚礁の係留ロープに働く張力は *Steeptness* の増大に従って大きくなる。
- 2) 浮魚礁の水中重量に対して余剰浮力を大きくすれば、無次元張力 F_T/W は急激に小さくなり、係留ロープに働く張力を軽減することができる。
- 3) 余剰浮力が小さい場合 ($W/W_B < 1.0$)、波に伴う浮体の運動が大きくなり、係留ロープの弛緩した後、伸張するときパルス状の衝撃力が現われる。実際に設計する場合、このことを充分考慮して、余剰浮力はある程度大きくする必要がある。またこの場合、浮体の固有周期と波の周期の一致するときは、特に危険である。
- 4) さらに余剰浮力が小さくなると ($W/W_B < 0.20$)、水中での浮体の水平、垂直方向の移動が大きくなり、共振周期のもとでは、2波長に1つだけの衝撃力が発生する。しかし、3)の場合の1波長に1つの衝撃力よりも小さい。

参 考 文 献

- 1) 徳島県水産試験場，培養魚礁造成に関する研究－Ⅰ，栽培漁業技術開発研究，第1巻，第1号，27－32（1972）。
- 2) 徳島県水産試験場，培養魚礁造成に関する研究－Ⅱ，栽培漁業技術開発研究，第2巻，第2号，1～5（1973）。
- 3) 沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針編集委員会（編），沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針（昭和53年度版），19－31，日本水産資源保護協会，東京（1978）。

（昭和54年9月29日 受理）

（昭和55年3月28日 発行）

