HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	養殖網生簀の係留技術に関する模型実験による検討
Author(s)	傅, 恩波; 梨本, 勝昭; 山本, 勝太郎; 平石, 智徳; 高木, 力
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 45(1), 9-18
Issue Date	1994-02
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/24132
Type	bulletin (article)
File Information	45(1)_P9-18.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北 大 水 産 彙 報
45(1), 9-18. 1994.

養殖網生簀の係留技術に関する模型実験による検討

傅　恩波*・梨本　勝昭**・山本勝太郎**
平石　智徳**・高木　力**

Model Experiment Examination of Mooring Method in Aquaculture Net Cage

En-Bu FU*, Katsuaki NASHIMOTO**, Katsutaro YAMAMOTO**,
Tomonori HIRAISHI** and Tsutomu TAKAGI**

Abstract

A model experiment was conducted, to determaine the shape, volume and the wave force of the aquaculture net cage in the wave. Observation of the shape, volume and wave force of models influenced by a different mooring method, a different buoyancy of float and weight of sinker were carried out. In this experiment, a model scale of 1/18 was moored in the experimental tank with three different types of mooring, i.e. mooring type P, Q and R and with three buoyancy-weight ratio. Mooring type P, Q and R was defined respectively as follows:

P: 8 mooring lines were connected to the net cage, and 4 lines were set perpendicular to the wave direction, and the other 4 lines were set parallel to the waves.

Q: similar to P, however, an additional 8 lines were connected to the base of the net cage and further attached to the middle float lines.

R: similar to P, however, 8 mooring lines were connected to the base of the net cage.

The results obtained were as follows:

1. The volume of the model of type R was the largest of all.
2. The wave force on the model of type Q was the smallest.
3. The buoyancy-weight ratio did not influence the volume of model, but the wave force became largest with an increase in the size of the float.
4. The calculated and experimental wave force action on the cage model were similar to each other.

緒　　言

現在，海面養殖が盛んに行われるようになってきたが，海洋条件の穏やかな内湾などの漁場が狭小となり，自家汚染も進み，いわゆる漁場の老朽化という大きな問題が生じてきた。最近，沖合の外海において網生簀を使用した魚類の養殖が積極的に取り組まれている。しかし，これらの海域では流れや波浪などの自然条件が大変厳しいので，網生簀の係留，管理および安全性などが大きな問題となって，思うように進展できないのが現状である。このため網生簀を沖合の外海で

* 大連水産学院
(*Dalian Fisheries College*)
** 北海道大学水産学部漁具設計学講座
(*Laboratory of Fishing Gear Engneering, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

安全に，しかも経済的に係留および管理する技術が強く要望されている。係留中の網生簀は潮流や波浪，係留方式および浮子と沈子量の比などによって形状や容積などが大きく変化し，吹かれによる網生簀の変形は流体力に大きく作用される。また，網生簀の形状や容積などの変化は，養殖魚の魚体の損傷や遊泳行動などに影響を及ぼす重要な要因の一つと考えられる。本研究では沖合養殖に使われている網生簀の模型を用い，係留方式および浮子と沈子量の比を変化させ，波浪中においてその形状，容積の変化を観察すると同時に係留索にかかる張力を計測し，網生簀の形状や容積の変化，波力などの影響について検討した。

材料と方法

模型網　実験に使用した模型網は高知県外海養殖実験施設に用いられているハマチ養殖用網生簀[1]をモデルとして作成した。この網生簀の大きさは 9 m×9 m×9 m の四角形をしており，網地は網糸の直径 d が 2.9 mm，目合 $2l$ が 76 mm のポリエチレン製の無結節網地が使用されている。模型網は次のように作成した。

模型網にはポリエステル（テトロン）製を使用し，模型網の直径（d'）と脚長（l'）の比を実物網の直径と脚長の比 d/l と同じになるように $d'=1.7$ mm, $2l'=44$ mm のものを選んだ。また，模型と実物の寸法比を 1/18 とした。田内の相似則[2]にあてはめると，

$$\lambda'/\lambda=1/18=0.056 \tag{1}$$

$$d'/d\simeq l'/l=0.59 \tag{2}$$

ここに λ は漁具の代表長さ，“′”は模型を表わすものとする。次に速度比であるが，

$$\frac{u'}{u}=\sqrt{\frac{d'(\rho'-\rho_w')}{d(\rho-\rho_w)}} \tag{3}$$

を計算しようとするとポリエチレンの比重 ρ が水の比重 ρ_w より小さいため分母がマイナスとなって，この式は意味をなさない。そこで松田・鈴木[3]の方法に従って，模型網地の比重 ρ' を調整し，実物網地の比重 $\rho=0.95$ に合わせるため模型網に浮子をつけた。よって，(3) 式より

$$u'/u=0.76 \tag{4}$$

となる。

また，力の比 F'/F は水中重量の比 W'/W と等しくおけて，

$$F'/F=W'/W=1.81\times10^{-3} \tag{5}$$

である。

模型網および実物網の諸元を表 1 に示す。模型網および実物網の縮結は 0.293 で，網目は正方形とした。また，模型の筋綱には直径 3 mm の白いナイロン製の撚糸を用いた。

係留方式　係留方式の違いによって，生簀の形状，容積，運動状況や流体力などが大きく影響されるものと考えられる。従って，本研究では図 1～3 に示すような P, Q および R の三種の係留

Table 1. Dimensions of actual and model net cage.

	Volume of cage (m^3)	Diameter of twine (mm)	Mesh size (mm)	d/l
Actual cage	9×9×9	2.9	76	0.076
Model cage	0.5×0.5×0.5	1.7	44	0.077

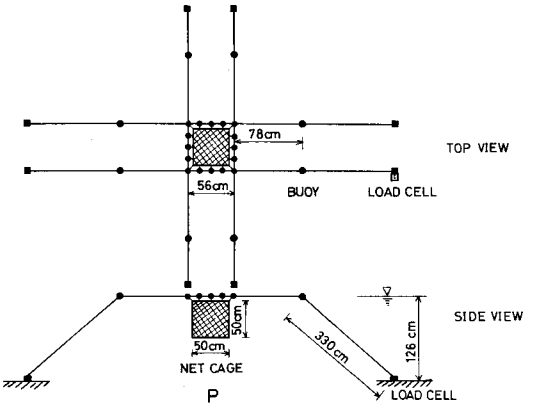

Fig. 1. Schematic diagram of mooring type P.

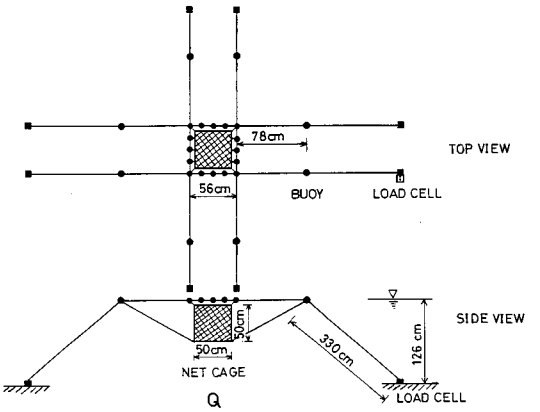

Fig. 2. Schematic diagram of mooring type Q.

方式で模型網を係留した。係留方式 P は波の進行方向に平行に 4 本，直角に 4 本の計 8 本の係留索を使用し，途中に中間浮子を入れて模型の浮子棚と連結した。模型の下方の沈子棚は固定していない。係留方式 Q は基本的に P 式と同じであるが，さらに中間浮子と網生簀模型の沈子棚の頂点とを 8 本の索を用いて連結し係留した。係留方式 R は係留方式 P と同じく 8 本の係留索を用い，さらに網生簀模型の沈子棚の頂点から水槽の底にあるブロックと連結して係留した。用いた係留索は直径 1 mm のワイヤである。また，実物網の係留方式は P 式であり，今まで実際に用いられる養殖施設の多くはこの 3 種類の係留方式に整理することができる。

浮沈比 網生簀の形状は浮子量と沈子量に大きく影響される。ここでは浮子量と沈子量を示す 1 つの指標として両者の比を浮沈比として考えた。なお，浮沈比は浮子の余剰浮力と沈子および網地などの水中重量との比で表すものと定義した。本実験は表 2 に示すように浮沈比を 3 段階に変化させて実験を行った。ここでは係留方式 P と浮沈比 1.24, 1.67 および 2.05 とを組み合わせた実験をそれぞれ P-1, P-2, P-3 と呼び，係留方式 Q, R と浮沈比 1.24 とを組み合わせた実験を Q-1, R-1 と呼ぶことにする。また，浮沈比 1.24 の実験には直径 58 mm の球体浮子 4 個，直径 40 mm の球体浮子 12 個を使用した。沈子は釣り用の鉛製の鼓状のもの（長さ 2 cm，最大直径 1.5 cm）で，

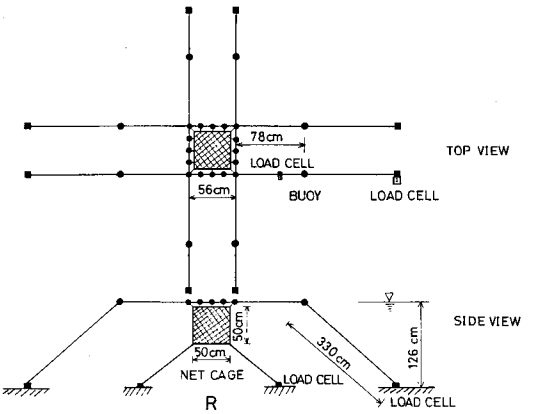

Fig. 3. Schematic diagram of mooring type R.

Table 2. Specification of float and sinker.

	Weight of nets and sinker in water (kgw)	Buoyancy of float (kgw)	Size of float (mm)	B/W*
Actual cage	174	240	433×288×40(12**)	1.38
	0.440	0.545	ϕ=58(4**), ϕ=40(12**)	1.24
Model cage	0.542	0.904	ϕ=58(16**)	1.67
	0.440	0.904	ϕ=58(16**)	2.05

* B/W=Buoyancy of float divided by weight of nets and sinker in water
** Number of floats
ϕ Diameter of float

水中重量が 15.9 g のものを 20 個使った。中間浮子は直径 102 mm の球体を 4 個使用した。浮沈比 1.67 の実験には直径 58 mm の球体を 16 個用い，沈子は浮沈比 1.24 の場合と同じ重り 20 個に，さらに水中重量が 25.5 g のものを 4 個加えた。浮沈比 2.05 の実験に使用した浮子は浮沈比 1.67 の場合と同じで，沈子は浮沈比 1.24 の場合と同じである。

実験装置 実験は北海道大学水産学部の大型水理実験水槽 (長さ 50 m, 幅 3.8 m, 深さ 1.8 m) を用い，水深は 1.26 m で行った。使用した装置の概要を図 4 に示す。実験に用いた波の周期は 1.1～2.2 sec の 5 段階で，波長は 254～661 cm, 波高は 7.0～22.2 cm の範囲であった。係留索にかかる張力は二分力検出計を使って水平方向と垂直方向の分力を同時に測定し，2 ペン電位差計で記録した。本実験は規則波中で行うため波の進行方向の前方にある 2 本の係留索にかかる張力は同じものとして，係留索 1 本のみの張力を測定した。なお，係留方式 R の場合では図 3 に示すように 2 台の二分力検出計の索張力をそれぞれ測定した。また，網生簀の形状および運動を測定するために水槽の側面にビデオカメラを設置した。なお，本実験では波力の計測の際は二次元平面運動に限定して考え，図 4 に示すように係留索は波の進行方向に平行なもののみ設置した。網生簀の形状および運動の測定は図 1～3 に示す係留方式で測定した。また，実験の初期条件として係留索に弛みがなく，全ての浮子が水面上 2/3 露出するようにした。

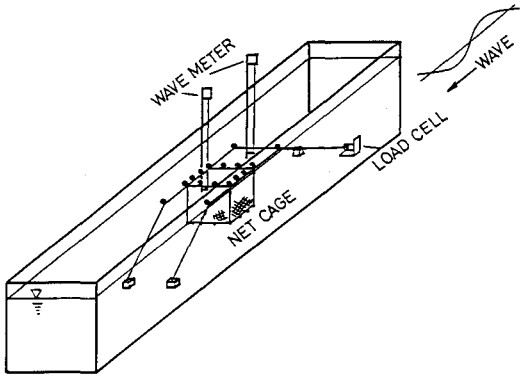

Fig. 4. Schematic diagram of experimental equipments.

結 果 と 考 察

1. 模型網の運動および容積の変化

模型網の運動および形状の変化をビデオカメラで録画した。この画像をコマ送りで1周期分を0.2秒ごとに再生し，模型網の側面の筋綱の形状を測定した。その一例を係留方式別に図5に示す。この時の波の条件は周期 $T=1.1$ sec，波長 $L=254$ cm，波高 $H=16.6$ cm である。図中の実線は静水中での形状で，破線は0.2 secごとの模型網の外側の筋綱の形状である。定量的に模型網の容積の変化を解析するため，図6に示す S_c 部分の面積を求めた。この S_c は模型の生簀が動いても影響を受けない部分で，これを空間領域と呼ぶ。実際の養殖には空間領域の大きい網生簀が望ましいことになる。

模型の容積の変化を検討するため容積係数を次式で定義し求めた。

$$C_c=\frac{S_cL'_M}{S_oL'_M}=\frac{S_c}{S_o} \tag{6}$$

ここに

S_c：空間領域の面積

L'_M：波の進行方向に直角方向の模型の網地の平均的な一辺の長さ

S_o：静水中の模型網の側面の面積

ただし，波力が作用しても波に直角な方向の模型の断面形状は静水中と同じで変化しないものと仮定した。この容積係数 C_c と波形勾配 H/L との関係を係留方式別に示したのが図7である。図から見れば容積係数 C_c はいずれの係留方式とも波形勾配 H/L が 4×10^{-2} までは H/L が大きくなると減少するが，波形勾配 H/L が 4×10^{-2} を越えるとやや増加する傾向を示す。また，容積係数の値はP係留方式，Q係留方式，R係留方式の順に大きくなる。すなわち，三者の中ではR係留方式は容積係数が最も大きいことがわかった。係留方式Pについて浮沈比による容積係数の変化を調べ，波形勾配 H/L と容積係数との関係を整理し，図示したのが図8である。波形勾配 H/L が 5×10^{-2} までは容積係数は H/L の増加にともなって減少するが，H/L が 5×10^{-2} を越えると容積係数が大きくなる。しかし，浮沈比が1.24～2.04の範囲で変化しても明らかな差は認められなかった。

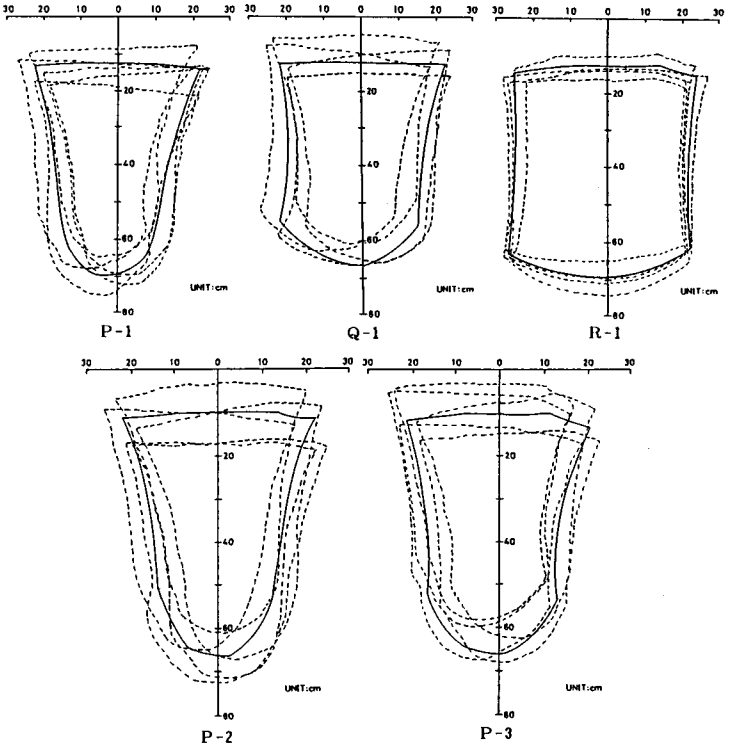

Fig. 5. Locus of netting cage models.
$T=1.10$ sec, $L=214$ cm, $H=16.6$ cm.
T : period, L : wave length, H : wave height.

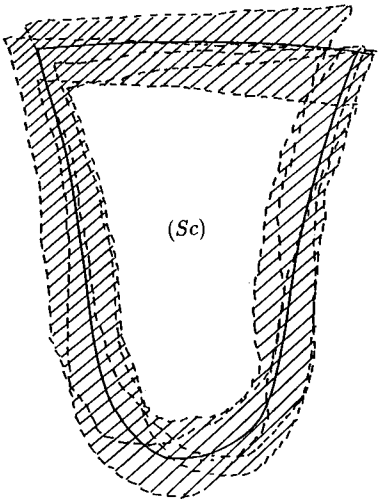

Fig. 6. Definition of surplus area (S_c).

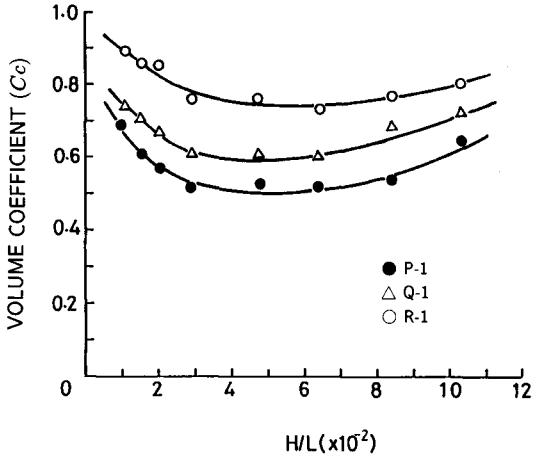

Fig. 7. Relationship between the volume coefficient (C_c) and H/L with different mooring type, where H is wave height, and L is wave length.

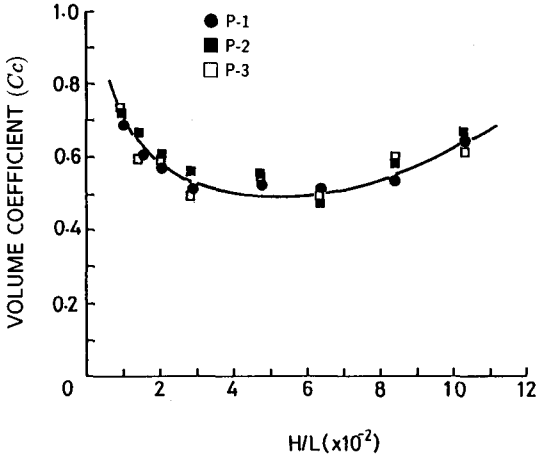

Fig. 8. Relationship between the volume coefficient (C_c) and H/L with different buoyancy-weight ratio, where H is wave height, and L is wave length.

2. 模型に作用する波力

水平方向の模型に作用する波力を係留方式別に図 9 に示す。ここで，P, Q 係留方式では 1 本の係留索にかかる張力を計測して 2 倍し，R 係留方式では二つの二分力検出計で得られた張力を 2 倍して波力とした。水平方向の波力はいずれの係留方式でも全体的にみれば波形勾配 H/L の増加によって増大する。H/L が大きい場合には Q 係留方式の波力が僅かに小さくなる傾向を示す。しかし，顕著な差はみられない。垂直方向の波力を係留方式別に図 10 に示す。図から明らかなように波形勾配に対する垂直方向の波力の変化傾向は水平方向とほぼ同じである。浮沈比別に水平方向の波力と波形勾配 H/L との関係を図 11 に示す。図から明らかなように最大波力は波形勾配

が大きくなれば増加する。三者の中で P-1 が最も小さく，他二者はほぼ同じ傾向を示し差がみられなかった。これは P-2, P-3 の実験は P-1 より浮子の直径が大きいために波力がその分増加したものと考えられる。また，P-2 と P-3 ではほとんど差はみられなかった原因として次のように理解される。P-2 と P-3 の実験では浮子の数と大きさが全く同じなので沈子の数が多少変わっても (P-3 は P-2 より 4 個多い) 沈子が小さく，しかも水面より下方にあるので沈子が受ける波力は小さく，全体の波力に差が出なかったことによるものと思われる。P 係留方式における浮沈比別に垂直方向の波力と波形勾配 H/L との関係を図 12 に示す。垂直方向の波力の変化傾向は水平方向の波力の場合とほぼ同じである。

直角と平行に設置したときの平面網地の抗力係数および付加質量係数については，傅[4] によって求められており，その結果を適用して係留した網生簀模型に作用する波力を計算し実測値と比較した。抗力係数と付加質量係数の値はレイノルズ数と KC 数によって変化し，実測値のレイノルズ数 (10^2～10^3), KC 数 (20～90) から網地の面に直角な方向の抗力係数と付加質量係数はそれぞれ 2.8～1.1, 1.2～6.0, 網地の面に平行な方向の抗力係数と付加質量係数はそれぞれ 0.7～0.4, 0.6～3.0 を使用した。なお，網生簀模型に取り付けた沈子，係留索および筋綱に作用する波力を無視して，浮子と網地に作用する波力だけを求めた。浮子に作用する波力は抗力係数を 0.5, 付加質量係数も 0.5 とし，浮子が水面より 1/3 沈んだ状態の波力を計算した。波力を計算する際には模型が変形せず立方体とした。また，傅[4] の計算結果によれば網生簀を構成する平面網地に作用する波力を計算して，生簀の波力とする場合は計算値の方が 0.87 倍くらい小さくなる。このことを考慮して計算値を 0.87 で除し修正した。模型に作用する波力の計算値と実測値を整理して波形勾配との関係を示したのが図 13, 図 14 である。図 13 は水平方向の最大波力と波形勾配 H/L との関係を表わし，図 14 は垂直方向の最大波力と波形勾配 H/L との関係を表わす。図からわかるようにい

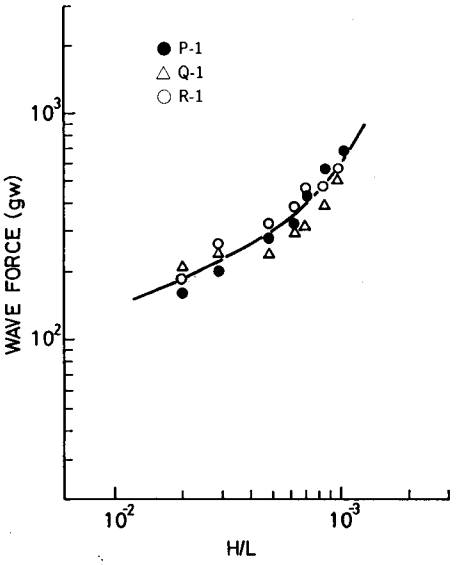

Fig. 9. Relationship between the horizontal wave force and H/L with different mooring type, where H is wave height, and L is wave length.

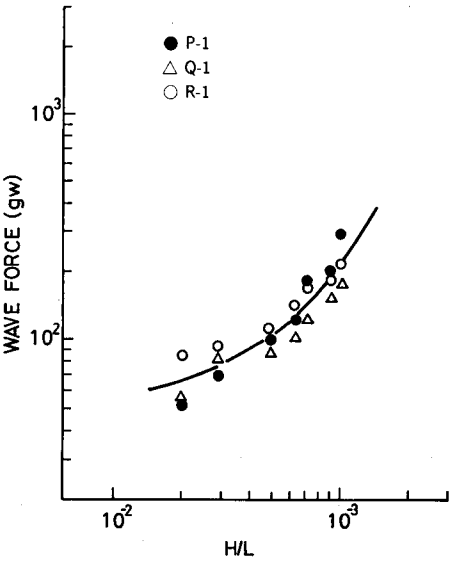

Fig. 10. Relationship between the vertical wave force and H/L with different mooring type, where H is wave height, and L is wave length.

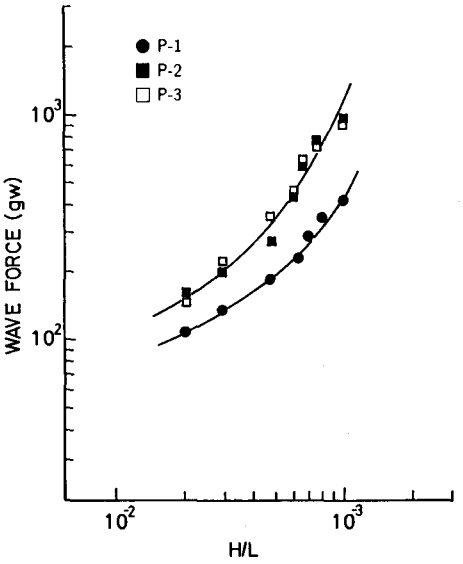

Fig. 11. Relationship between the horizontal wave force and H/L with different buoyancy-weight ratio, where H is wave height, and L is wave length.

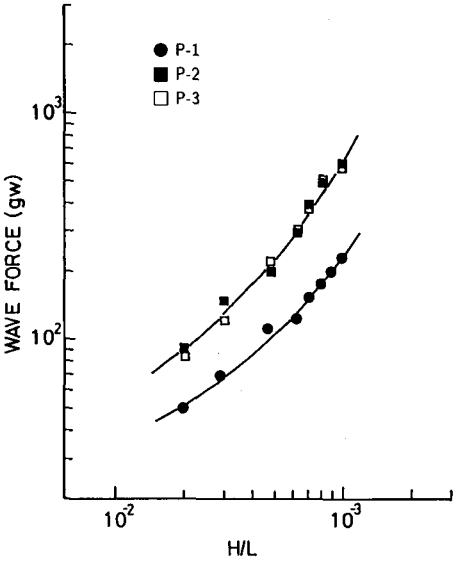

Fig. 12. Relationship between the vertical wave force and H/L with different buoyancy-weight ratio, where H is wave height, and L is wave length.

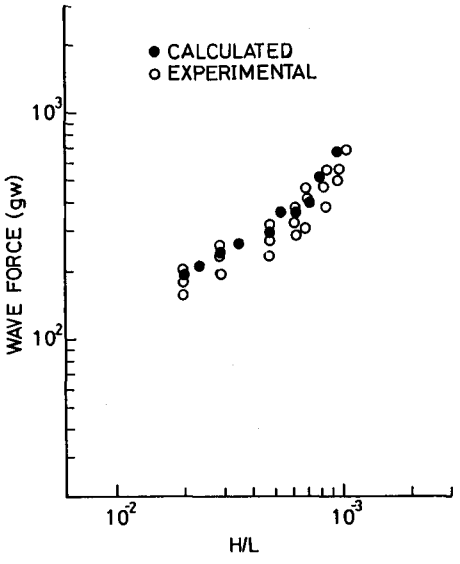

Fig. 13. Relationship between the horizontal wave force and H/L with the experimental values and the calculated ones, where H is wave height, and L is wave length.

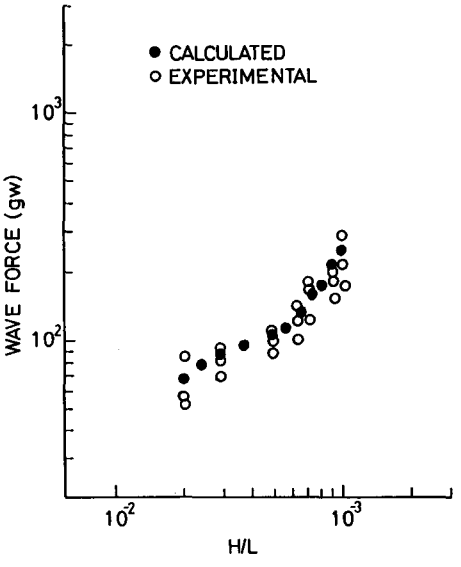

Fig. 14. Relationship between the vertical wave force and H/L with the experimental values and the calculated ones, where H is wave height, and L is wave length.

ずれの波力も H/L の増加によって大きくなり，計算値と実測値とはほぼ一致している。

以上の結果から規則波中に係留した網生簀では容積係数はR係留方式が最も大きい。また，波力の点からみれば波形勾配 H/L が大きい場合にはQ係留方式が他の係留方式よりやや小さいことがわかった。大きい容積（養殖魚の活動空間）を得るためには，R係留方式が最も効果的であるが，係留ブロックが他の係留方式の2倍必要となるので，コストの面からみればこの係留方式は最適とはいえない。本実験に使用した模型の実物の網生簀はP係留方式を採用しているが，容積係数が最も小さい。

実際に網生簀を設置する海域の水深を40 m，波の周期を10 sec，波長を150 m，波高を3 mとすると，波形勾配は約 2×10^{-2} となり，この場合は図7から生簀の容積は約40%減少する。このため，養殖魚の運動空間は小さくなり，密度が相対的に大きくなるので，魚の成長などに悪影響を与える恐れもある。容積係数と波力の面から総合的に考えると，三者の中ではQ係留方式が適当であるといえる。

定常流中での網生簀の模型実験は大沢ら[5]および永松ら[6]によって行われたが，波浪中では模型の運動と容積の変化などは定常流中と違って今まで判断基準がなかった。本研究では空間領域と容積係数を導入し，定量的に網生簀の運動状況および容積の変化を検討した。また，模型に作用する波力について，係留方式，浮沈比などの違いによる影響を調べた。さらに，理論的に計算した波力と実測値を比較した。しかし，実際の網生簀の形状には，円形，六角形，八角形などがあり，使用される網地の違いもある。これらは網生簀の容積および流体力にどのように影響するのかについても今後研究する必要がある。特に生物付着後の網生簀の網地は，透過性能が低下し，生簀全体に目づまりが起こる。養殖生物に悪影響を与えるだけではなく，網生簀に作用する流体力も莫大に大きくなってくることが予想される。経済的にしかも安全に網生簀を係留するため，これらの点は急いで今後解明しなければならない重要な課題である。また，施設に対しての波の遭遇方向はいろいろと想定しなければならないが，実際の施設では形状が立方体であること，また，波の主な進行方向に対しては網生簀の辺を常に直角になるように設定することが多いので，ここでは施設と波との遭遇方向を直角に限定して行った。今後は，施設に遭遇する波の方向をいろいろと変化させて実験する必要がある。

文　　献

1) 高知県水産試験場 (1981). 沖合漁場利用養殖技術開発試験報告書. 110 p. 高知県.
2) Tauti M. (1934). A Relation between Experiments on Model and Full Scale of Fishing Net. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* **3**, 171-177.
3) 松田　皎・鈴木　誠 (1982). 比重1以下の網糸からなる漁具の模型実験法の検討. 日水誌 **48**, 1065-1071.
4) 傅　恩波 (1991). 養殖網生簀に作用する流体力に関する研究. 164 p. 北海道大学博士学位論文, 北海道大学, 北海道.
5) 大沢要一・田原陽三・武富　一 (1985). 養殖生簀網の研究 II. 水工研報告 **6**, 297-321.
6) 永松公明・西ノ首英之・中才　啓 (1986). 網生簀の力学的特性. 長大水研究報告 **59**, 1-10.