

中層浮き魚礁流出時の航行漁船との衝突力 に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON COLLISION FORCE BETWEEN A FISH BOAT
AND A MIDWATER FLOATING FISH REEF BY AN ACCIDENT

小野 正順¹・鷺澤栄二郎²
Masanobu ONO and Eijiro SAGISAWA

¹正会員 博士(工学) 高知工業高等専門学校助教授 建設システム工学科
(〒783-8508 高知県南国市物部200-1)

²旭化成マリンテック株式会社 (〒530-8205 大阪市北区堂島浜一丁目2-6)

A midwater artificial floating reef is set in the middle layer of the depth from 500m to 1500m. The fish reef has a cylindrical shape. Its diameter and height are 2m and 7m respectively. The upper part of the mooring line is made of the wire rope with a diameter of 32mm. The lower part of the mooring line is made of the polyester rope with a diameter of 42mm.

This fish reef rarely is carried away to the sea surface by the snapping of the mooring line. As this measure, the fish reef has the alarm sending device and sonar reflector. However it is generally difficult to recognize to floating fish reef after sunset and the sound of engine hinder the warning sound. Further, the safety devices are not always normality operated by an attached organism. So, we have to consider the possibility of that the fishing boat has a collision with the floating reef.

In this study, we investigate the collision force between the fishing boat and the floating reef on sea surface by the hydraulic model experiment.

Key Words : midwater artificial floating reef, collision force, hydraulic model experiment

1. はじめに

中層浮き魚礁は、水深500m～1500mの海域の中層域に設置される浮き魚礁である。本研究で対象とした中層浮き魚礁は図-1に示すような魚礁である。魚礁の形状は外径約2m、高さ7mの円筒形であり、FRPの蛇籠で作られている。本体上部3mの部分は内側にフロートを備えており、浮力を確保している。係留索は上部が32mm径のワイヤー外層ポリアラレートロープで、下部が42mm径のポリエステルロープで係留されている。中層浮き魚礁は、係留索が破断して浮上流出した場合の対策として、流出警報発信機とソナーレフレクターが装備されている。しかしながら、夜間の航行や警報音がエンジン音で聞こえないとか、付着生物により正常に装置が作動しないなど、必ずしも万全な対策とはなっていない。

漁船航行の安全性に関する研究は、久保ら¹⁾による入港支援ガイドに関する一連の研究があるが、対

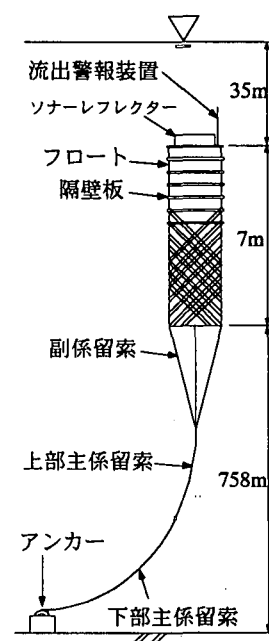


図-1 中層浮き魚礁の設置例

象が入港時であるため漁船の速度が比較的遅い場合を想定している。また、防舷材に関する研究も同様であり、漁船が通常航行時に障害物に衝突するような状況を取り扱った研究はほとんど見られない。

従って本研究では、係留索が何らかの原因で破断され、中層浮き魚礁が水面に浮上した場合における漁船の航行の安全性について水理模型実験により検討を行った。

2. 現地の状況

(1) 漁船の状況

本研究で取り扱う中層浮き魚礁の設置予定のいくつかの現地において漁船の形状を調査した。その結果、漁船の形状はほとんどキールのない通常の形状であった。従って、漁船が魚礁に衝突することでキールが魚礁に突き刺さるということはほとんどなく、衝突形態としては船首が魚礁側面に衝突する場合と船首の下側と魚礁上端部が衝突する場合が考えられる。また、魚礁との衝突で問題となるのは、対象魚礁と同程度の大きさの1.5～2tタイプの漁船（全長8～10m）や5tタイプの漁船（全長11.86m）であると考えられる。これ以上の漁船については、魚礁の方が十分小さいので問題ないと考えられる。

(2) 魚礁の状況

魚礁の形状はほぼ決まっており、径が2m高さが7mの円筒形である。フロートは魚礁上部3mの部分に内装されている。設置場所の水深によって魚礁本体の形状は変わらないが係留索の長さが異なる。また、係留索が切断される位置と付着生物の状況によって、海面上に浮上したときの魚礁の喫水が決まる。現地において魚礁の喫水は5.06～6.46mとなり、水面上には0.54～1.94m突出することになる。

3. 航行漁船と浮き魚礁の衝突に関する水理模型実験の概要

(1) 実験水槽と実験模型

実験水槽は、神戸商船大学の長さが60m、幅が6m、水深は1.5mの水槽を使用させて頂いた。水深は1mと一定として実験を行った。

模型船も神戸商船大学の模型船を使用させて頂いた。模型船は図-2に示すように、全長130cm、幅28cm、重量は17.2kgである。5tタイプの漁船（全長11.86m）を想定して1/10の実験縮尺とした。重量的には模型船は現地スケールで17.2tタイプになり、重量の重い歪みモデルとなっている。また、1.5～2tタイプの漁船（全長8～10m）を想定して1/7の実験縮尺を考えた。この場合は、現地スケ-

ールで5.8tタイプの漁船を想定したものとなる。漁船重量は積載量によっても異なるが、それぞれの漁船の最大積載量は総トン数と同程度である。今回の実験ではそれよりも危険側の実験ということになる。

中層浮き魚礁の模型は、長さスケールの縮尺 $N=1/7, 1/10$ に対して、図-2に示すように外径と魚礁高さがそれぞれ29cm, 100cmと20cm, 70cmの2種類の模型を作成した。相似則はフルード則とした。漁船と衝突する時に支配的となる魚礁の剛性は、フロート部に50cm間隔で入れられている水平方向の隔壁板である。この蓋のパネ定数を有限要素法により算定し、フルード則により縮尺したパネ定数になるようにリング幅と厚みを決定した。リング幅は歪みゲージを貼る関係から7mmとし、リングの厚さを $N=1/7$ の場合 $t=6.6\text{mm}$ 、 $N=1/10$ の場合 $t=3.6\text{mm}$ とした。上から2段目、3段目のバンドについては、模型船が衝突する幅を考えて20mmとし、厚みを $t=2.6\text{mm}$ とした。バンドの位置、他のバンド幅、パターン幅は長さスケールの縮尺で縮小した。フロートは発泡スチロールで作成し、魚礁の中心に集中させた。フロートの空隙の分だけ発泡スチロールの外径が小さくなるので、厚さ3mmの塩ビ版でフロートの部分を不透過にした。フロートの下の部分は透過とし、上蓋も十分緩く固定している。フロートの大きさは実浮力の縮尺とし、 $N=1/7, 1/10$ に対して直径を11.7cm, 20.2cmとした。模型魚礁の中心には重量調整の重りを取り付けたり、重心の位置を変化させるためのフックの付いた金棒が通している。実験の状況を図-2に示す。

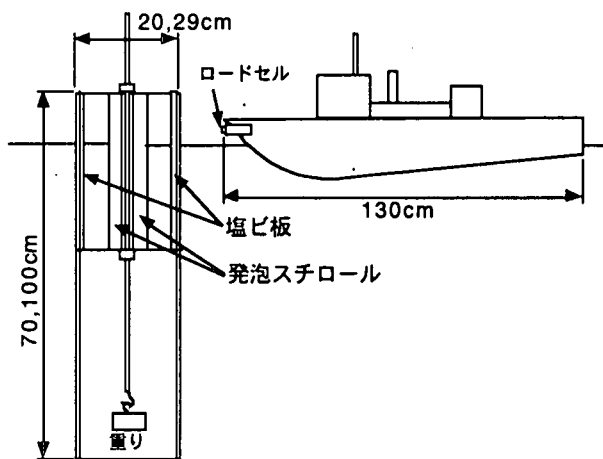


図-2 魚礁模型の断面図と実験状況

(2) 実験方法及び実験条件

実験は2種類の実験を行った。1つは、漁船と浮き魚礁が衝突する場合の両者の挙動を計測する実験であり、両者の衝突の状態をビデオにより観測した。もう1つは、漁船と浮き魚礁が衝突する場合の衝突力の計測である。

a) 挙動実験

挙動実験は、実験水槽を上部及び横方向よりビデオカメラで撮影し、浮き魚礁に漁船が衝突する状況及びその後のそれぞれの運動を調べた。既に述べたように浮き魚礁は、付着生物の状況及び係留索の切断位置により乾舷や重心位置が異なる。重りの重さと取り付け位置を変化させることで、魚礁の乾舷や重心位置を変化させて実験を行った。魚礁模型の運動で最も支配的だったロール運動に対する固有振動周期、魚礁上端からの重心位置を含めて魚礁模型の緒元を表-1に示す。実験は表-1における各模型魚礁に対して行い、船速を1~3m/sに変化させて模型船を魚礁に衝突させた。船速1~3m/sは現地では1/10縮尺で3.2~9.5m/sに対応し、1/7縮尺では2.6~7.9m/sに対応する。各ケースに対して船速1,2,3m/sで5回ないし10回魚礁に衝突させた。

表-1 挙動実験の魚礁模型の緒元

1/10模型	乾舷, 重り	重心位置	固有周期 (ロール)
case1	4.5cm, 2.2kg	40cm	3.2s
case2	4.5cm, 2.2kg	24cm	16.3s
case3	16.5cm, 0.5kg	40cm	4.6s
case4	16.5cm, 0.5kg	31cm	7.9s

1/7模型	乾舷, 重り	重心位置	固有周期 (ロール)
case1	8.0cm, 6.5kg	57cm	3.5s
case2	8.0cm, 6.5kg	33cm	14.4s
case3	20.0cm, 3.2kg	57cm	3.7s
case4	20.0cm, 3.2kg	40cm	15.2s

b) 衝突力実験

衝突力は船首に金具を取り付けその先端に取り付けたロードセル (KYOWA製, LM-50KA) により測定した。また、浮き魚礁の方にも衝突によって生じる魚礁の歪みから衝突力を測定できるように歪みゲージ (KYOWA 製, KFWS-2N-120-C1-11 L5M2R) を取り付けた。両者の計測から測定される衝突力はほとんど一致していた。実験ケースは挙動実験と同様、魚礁の乾舷と重心位置を変化させた。

表-2 衝突実験の魚礁模型の緒元

1 / 1 0 模型	乾舷, 重り	重心位置 (魚礁上端から)
case1	4.5cm, 2.2kg	40cm
case2	4.5cm, 2.2kg	24cm
case3	11.0cm, 1.3kg	40cm
case4	11.0cm, 1.3kg	28cm
case5	17.0cm, 0.5kg	40cm
case6	17.0cm, 0.5kg	31cm

1 / 7 模型	乾舷, 重り	重心位置 (魚礁上端から)
case1	8.0cm, 6.9kg	57cm
case2	8.0cm, 6.9kg	40cm
case3	11.0cm, 6.2kg	57cm
case4	11.0cm, 6.2kg	42cm
case5	20.0cm, 3.9kg	57cm
case6	20.0cm, 3.9kg	33cm

また、漁船の船首と魚礁の上端部が衝突する場合 (漁船と魚礁の乾舷が等しい場合) も行っている。衝突力実験の魚礁模型の緒元を表-2に示す。漁船の船速については、挙動実験と同様の条件で行った。

4. 漁船と浮き魚礁の衝突時の挙動特性

浮き魚礁と漁船の挙動は、大きく分けて4つのタイプに分けられる。

1つ目の挙動 (①) は浮き魚礁の乾舷が小さいため魚礁上部に乗り上げそうになるケースである。魚礁は乾舷が小さいために喫水が大きく大部分が水面下に没しているために、上端に水平方向の瞬間的な衝撃力を受けたとしても、付加質量が大きく抵抗が大きいため魚礁自身はあまり大きな移動は観測されない。このような運動は、魚礁の大きさに比較して小さな漁船 (1/7縮尺モデル) による衝突で、魚礁の重心が低く比較的安定なケースで特に顕著に生じる。

2つ目の挙動 (②) は浮き魚礁が漁船の衝突によりすぐに倒れてしまっ、漁船はそれほど減速することなくすり抜けるケースである。これは重心位置が高くロール運動の固有周期の長い条件で生じ、他の条件にはほとんど関係しない。ロール運動の固有周期が長いので魚礁が傾いている時間が長いことが、他の漁船の航行の障害になる可能性がある。

3つ目の挙動 (③) は、浮き魚礁も漁船の衝突で大きく水平方向に移動し、漁船も衝突によって進路方向が曲げられるが、それほど減速することなくすり抜けるケースである。このような運動は魚礁の大きさに比較して大きな漁船 (1/10縮尺モデル) が衝突する場合で、漁船の運動量が大きい速度が速い場合に観測される。また、衝突時に抵抗の大きい1/7縮尺モデルでは浮き魚礁の移動が小さく、漁船が受ける衝突力が大きくなる可能性がある。

4つ目の挙動 (④) は、漁船の運動エネルギーが浮き魚礁の移動に消費され、浮き魚礁は移動するものの漁船はほぼ停止してしまうケースである。この

表-3 漁船と浮き魚礁の衝突時の挙動特性

1 / 7 模型					
重心 低			重心 高		
	乾舷 小	乾舷 大	乾舷 小	乾舷 大	
船速 遅	④				
船速 速	①	③		②	

1 / 1 0 模型					
重心 低			重心 高		
	乾舷 小	乾舷 大	乾舷 小	乾舷 大	
船速 遅		③			
船速 速	①	③	②	③	

時の浮き魚礁の運動モードはスウェー運動であり、漁船が浮き魚礁を押すような形で、衝突時間も長い。このような運動は抵抗の大きい1/7縮尺モデルで、重心が低く、漁船の船速が小さい場合に生じる。

以上の浮き魚礁と漁船の挙動をまとめると表-3のようになる。本実験では魚船の進行方向と魚礁中心が多少ずれていても両者の間で衝突が発生し、衝突せずに漁船は魚礁の横をすり抜けるということとはなかった。また、表からもほとんどのケースで②と③の挙動形態を示し、漁船が浮き魚礁との衝突により衝突力を受けるケースが多いことを示している。

5. 漁船と浮き魚礁の衝突力の特性

(1) 1/7縮尺モデル

図-3～5はそれぞれ1/7縮尺モデルの浮き魚礁の乾舷を8cm～20cmまで変化させた場合の漁船の速度と衝突力の関係を示す。図中のCgは浮き魚礁の魚礁上端からの重心位置を示す。また、図中には各船速に対する衝突力の最大値を原点を通る直線で示している。縦軸の衝突力のスケールが図-3と他の図と違う所を注意してみると、乾舷の大きいケースの方が2～3倍の衝突力が発生することがわかる。このケースは浮き魚礁の側面に漁船が正面衝突するケースである。図-4,5の乾舷の低いケースはそれぞれ浮き魚礁の上端部と漁船船首先端、浮き魚礁の上端部と漁船船首の下側が衝突する場合で、漁船が魚礁に乗り上げる状態になるために衝突力がそれほど大きくならなかったこと、漁船船首下側の傾いた面が魚礁に衝突するので正面衝突しないために衝撃力がそれほど大きくならなかったことが考えられる。しかしながら、漁船も船首部分と船首の下側部分で材料強度が異なると考えられるので、衝突力が大きいのは漁船が魚礁の側面に正面衝突するケースであるが、漁船にとっては必ずしもそのケースが危険側であるとは言えない。

漁船の速度に着目すると、図-3の魚礁の側面に正面衝突するケースでは速度に比例して衝突力も増大していくことがわかる。図-4の場合も同様に漁船の速度が速くなるに従って衝突力は大きくなっているが、多少頭打ちになっている。これは漁船の速度が上がることで船首の位置が上がるため船首の下側に魚礁が衝突しているためである。この衝突場所が変化することは実験中でも目視で確認している。最も乾舷の低い図-5のケースは漁船が乗り上げるために衝突力が船の速度によってほとんど変化していないことがわかる。

重心の位置による衝突力の差異はほとんど確認できなかった。魚礁の挙動については、重心の位置は重要な要因であったが、これは衝突力が魚礁と漁船が

衝突している短い時間の状況で決定されるためである。

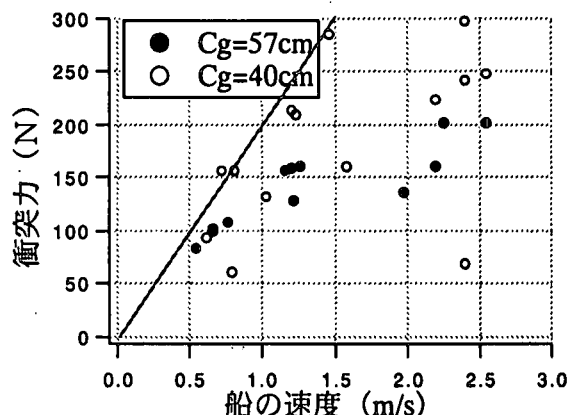


図-3 船速と衝突力の関係（乾舷20cm，重り3.9kg）

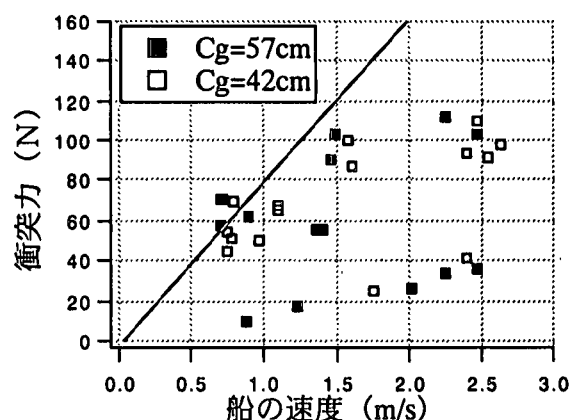


図-4 船速と衝突力の関係（乾舷11cm，重り6.2kg）

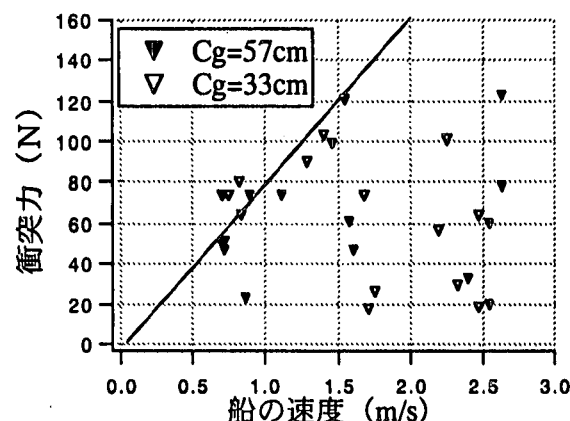


図-5 船速と衝突力の関係（乾舷8cm，重り6.9kg）

(2) 1/10縮尺モデル

図-6～8はそれぞれ1/10縮尺モデルの浮き魚礁の乾舷を4.5cm～17cmまで変化させた場合の漁船の速度と衝突力の関係を示す。衝突力の特性は1/7縮尺モデルと同様の特性を示す。しかしながら、図-3と図-6の比例定数（グラフの傾き）が異なることから、衝突力が必ずしも漁船のみのパラメータで決まるも

のではないことがわかる。魚礁模型の大きさが漁船に比べて大きい（1/7縮尺モデル）場合の方が衝突力が大きく、衝突時の瞬間的な付加質量が大きいためだと考えられる。すなわち浮き魚礁の瞬間的な応答特性が関係していると考えられる。

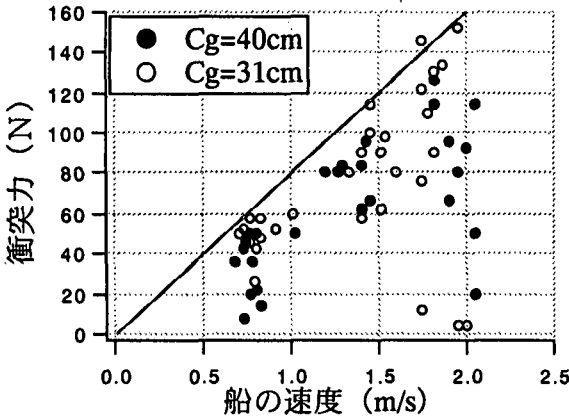


図-6 船速と衝突力の関係（乾舷17cm，重り0.5kg）

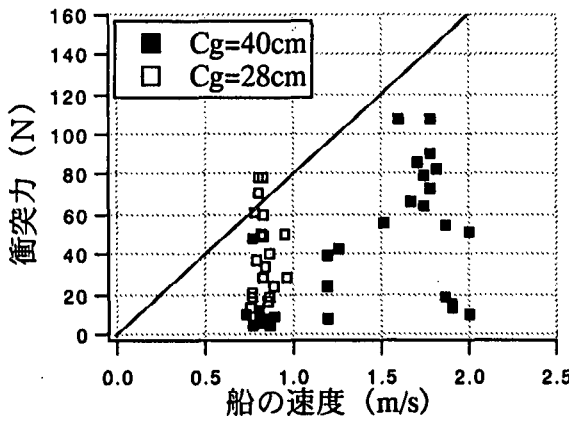


図-7 船速と衝突力の関係（乾舷11cm，重り1.3kg）

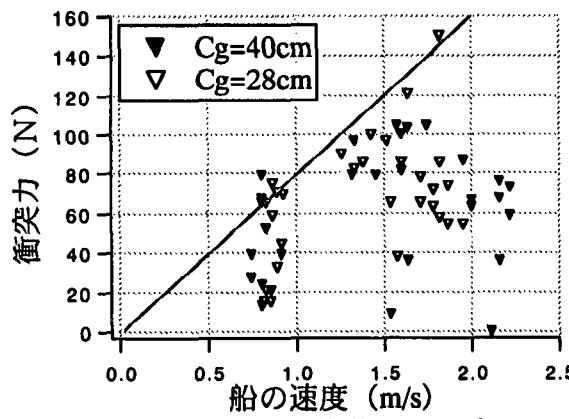


図-8 船速と衝突力の関係（乾舷4.5cm，重り2.2kg）

(3) 現地での衝撃力と航行漁船の安全性

漁船航行時の安全基準は，FRP設計便覧²⁾の高速艇基準に従うこととする。高速艇基準は，計画速長

比により適用される船舶が規定されている。

本研究で対象とする船舶は，船速 $V=20\text{knot}$ （ 10m/s ），船長 $L=10\text{m}$ の漁船であるため，計画速長比 $V/(L^{0.5})=6.3$ で4以上の規定を満たす。高速艇基準によると，波浪による外力について，船首における衝撃加速度を次のように定めている。

表-4 船首における衝撃加速度の安全基準

沿海区域を航行する船舶	3 G
限定沿海区域及び平水区域を航行する船舶	2 G
十分に訓練された乗員が体力の限度まで使用する船舶	6 G

この安全基準を用いて，実験結果を漁船の安全面から考察する。

a) 1/7縮尺モデル（1.5-2.0tタイプの漁船）

図-9 は1/7縮尺模型を用いた衝撃力の実験において最も危険側の浮き魚礁の乾舷20cmの場合の漁船の速度と衝撃力の関係を現地換算して示したもの

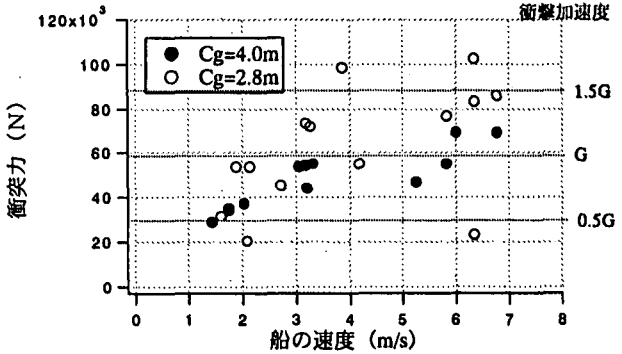


図-9 漁船にかかる衝撃加速度（乾舷1.4m,1.5tタイプ）

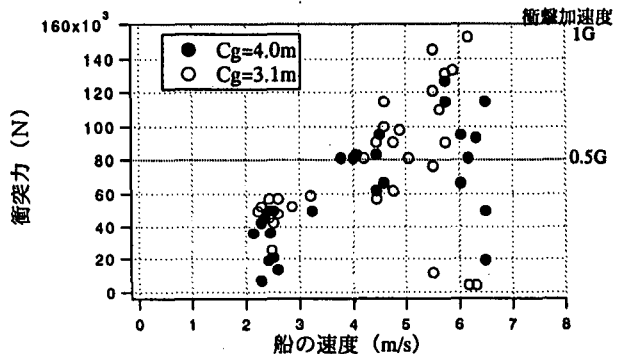


図-10 漁船にかかる衝撃加速度（乾舷1.7m,5tタイプ）

である。図中には模型船に対する衝撃加速度も併せて示している。図より漁船には，本実験条件に対して3G以上の大きな衝撃加速度は作用していないことがわかる。本実験では漁船の質量に対して相似則が成り立っていない。力積の法則により，衝突時間が一定と考えると衝撃力は物体質量と物体の速度に比例する。従って，衝撃力を物体質量で除した衝撃加速度で評価すると漁船の質量に関係なく安全性を

検討できる。よってこの条件では、漁船に2G程度の衝撃加速度しか生じないことがわかる。総トン数と同程度の最大積載量近くの積み荷を持った漁船の場合でもそれは同じである。

b) 1/10縮尺モデル (5tタイプの漁船)

図-10は1/10縮尺模型を用いた衝突力の実験において、最も危険側の浮き魚礁の乾舷17cmの場合の漁船の速度と衝突力の関係を現地換算して示したものである。図中には模型船に対する衝撃加速度も併せて示している。前に示す1.5-2.0tタイプの漁船の場合よりも衝撃加速度は小さくなっている。これは、浮き魚礁の大きさに比較して漁船が大きくなったため、衝撃加速度が小さくなっているものと考えられる。

6. 結論

本研究では、浮き魚礁の係留索が何らかの原因で切断されて水面上に浮上した場合における漁船の航行の安全性と衝突する場合の衝突力について検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 漁船が浮き魚礁に衝突する場合、それぞれの挙動形態は4つのタイプに大別され、船舶の航行に最も危険な形態は、漁船が浮き魚礁に乗り上げるケースである。このケースは、漁船の速度が速く、浮き魚礁の重心が低く、乾舷が小さいケースで生じる。

(2) 漁船が浮き魚礁に衝突する場合、衝突の仕方は大きく分けて浮き魚礁の側面に漁船船首が正面衝突する場合と、浮き魚礁の上端が漁船の側面に衝突する場合の2つのケースがある。どちらのケースに

なるかは浮き魚礁と漁船の乾舷の差に左右される。浮き魚礁の乾舷は、切断される係留索の長さや付着生物の付き方により決まるので、衝突形態がどちらのケースになるかはわからない。

(3) 漁船が浮き魚礁に衝突する場合、衝突力は漁船の速度に比例して大きくなる。しかしながら、浮き魚礁の乾舷が小さい場合は、漁船が魚礁に乗り上げるため、衝突力は漁船の速度の増大に対してそれ程大きくはならない。

(4) 漁船が浮き魚礁に衝突する場合の衝突力は、現地スケールで6-7m/sで航行する漁船に対して120-160kN(12-16tf)の大きさである。

(5) 漁船が浮き魚礁に衝突する場合の衝撃加速度は1-2G程度であり、波浪による船首の衝撃加速度よりも小さな衝撃になる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり神戸商船大学 久保雅義教授、榊原繁樹助教授には貴重な御意見を賜り、また実験施設、実験装置を借用させて頂きました。神戸商船大学の太塚 仁技術専門職員には本実験を遂行するにあたり御協力頂きました。旭化成工業(株)の担当者の方々には実験において御助力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 久保雅義, 斎藤勝彦, 大音宗昭: 漁船の入港援助施設に関する基礎的研究, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.728-732, 1990.
- 2) 植村益次編: FRP設計便覧, 社団法人強化プラスチック技術協会社団法人, 1984.