

底びき網のグランドロープの機能に関する基礎的研究

不 破 茂

Fundamental Studies on the Function of Ground Rope of Drag Net*¹

Shigeru Fuwa*²

Keywords : Ground Rope, Weight Distribution, Drag Coefficient,
Theoretical Analysis of Shape, Fish Herding Model

Abstract

The ground ropes function is to keep the net in contact with the sea bottom, and herd fishes to the entrance of the bag net. In the case of thinking about selective fishing with a drag net, it is necessary to clarify the shape and herding function of the ground rope. But there are very few reports about it. In this paper, the author considered forces acting on the ground rope under towing conditions, and decided the shape of it analytically. The author designed a fish herding model the ground rope based on the theoretical probability of fishes entering the funnel of a net. Based on these results, the author investigated the shape and gear efficiency of the ground rope. Finally the author intended to obtain rational instructions for designing of ground rope.

(1) The construction and weight distribution of three types of ground rope: Danish Seine, Bull Trawl and Trawl, (typical drag nets operated in Japan), were compared. Weight distribution of both Danish Seine and Trawl are uniform. But the mean weight of the latter is much heavier than that of the former. In the case of comparison of Trawl and Bull Trawl, the former is long and increases its weight towards the middle. The latter is short and very heavy and shows little difference in its weight distribution. The difference in fishing methods are clearly influenced in the construction of the two types ground rope.

(2) Three forces: hydraulic resistance of netting concentrated at the lacign line, hydraulic resistance of ground rope, and sliding frictional force between sea bottom are acting on the ground rope under towing conditions. At equilibrium those forces made a fixed ground rope shape. The author assumed the ground rope as a connection of segments, and considered an equilibrium among three components acting on them: horizontal, vertical and tangential components. In general it is impossible to express the vertical and horizontal component acting on each segment of the ground rope as a simple function. Assuming that the horizontal component acting on each segment of the ground rope is constant at any part, the length and end distances are known ahead of time, the shape of the ground rope was expressed graphically based on the distribution of vertical components of it which were obtained experimentally.

*¹ 北海道大学審査学位論文 (Thesis submitted for the Degree of Doctor of Fisheries Science at Hokkaido University, September 1988)

*² 鹿児島大学水産学部漁具学講座 (Laboratory of Fishing Gear Science, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima 890, Japan)

(3) The vertical component acting on each segment of the ground rope under towing conditions was expressed as the sum of hydraulic resistance, sliding frictional force and sand drag. Drag of cylinder type of bobbins at different lengths and that of sphere type of bobbins in various directions were measured both on wet concrete and in a sand tank with water. The drag of two types bobbin on a rocky bottom (F_D) had no directional qualities, and may be expressed as the product of weight of bobbin (W_B) and drag coefficient (μ_{90}); $F_D = \mu_{90}W_B$.

The drag coefficient of cylinder type of bobbins and sphere type of bobbins were 0.75 and 0.68 respectively. The drag of cylinder type of bobbins in towed on a sandy bottom is dependent upon the on attack angle ($90^\circ - \theta$), and may be expressed the product of the weight of bobbin (W_B) and drag coefficient (μ_θ) as follows; $F_D = \mu_\theta W_B$.

The drag coefficient is a function of θ and is expressed as follows; $\mu_\theta = 0.68 (0.72 \sin^{1.5}\theta + \cos^{1.5}\theta)$. In the case of a sphere, the drag coefficient was denoted a constant value of 0.68.

Hydraulic resistance of model ground rope composed of cylinder type of bobbins was measured in a circulating tank. Hydraulic drag coefficient (C_D) showed a constant value of about 0.45.

(4) Three types of model ground rope differing in weight distribution were made. These were examined both on wet concrete and sandy sea bottom under various conditions for the purpose of measuring shape and resistance. Close agreement was shown between experimental values of the shape and resistance of them, and those of calculated values obtained by analytically using the drag coefficients mentioned above. When the distribution of forces acting on ground rope under towing condition are known, the shape of it can be decided using the method proposed in this study. On the other hand the weight distribution of ground rope for making a certain ground rope shape can be decided using the method proposed in this study.

(5) The author paid attention to fish reaction to the ground rope and considered a fish herding model for the ground rope. Theoretical probability of fishes entering the funnel of the bag net was calculated, and six theoretical types of ground rope: triangle, trapezoid, half ellipse, arc, parabola and catenary were compared. The fishing efficiency of trapezoid, parabola, half ellipse and catenary showed almost same values under towing condition based on the fish herding model for flat fish. The wing tips distance at maximum fishing efficiency was wider than usual towing conditions. Higher fishing efficiency would be expected under that towing condition.

Fishing efficiency of two types of ground rope, middle-weighted Bull Trawl type and heavy-weighted Trawl type, were compared by towing on a sandy sea bottom using the fish herding model proposed in this study. Fishing efficiency of the former was a little higher than that of the latter. This correlates well with the results of field experiments.

(6) The ratio of resistance of ground rope to the total resistance of drag net was about 30–35% under towing condition. It is impossible to change a ground rope shape under towing condition by means of variation on the weight distribution of the ground rope. In the case of thinking on the ground rope shape, it is necessary to consider the hydraulic resistance of netting which were concentrated to the lacing lines and acting on the ground rope. The trapezoid shape ground rope was showed the fishing efficiency using the fish herding model proposed in this study. About 30–35% of resistance of drag net should act on the points both edge of bosom of ground rope to make a trapezoid-shape ground rope. It is one method to concentrate whole drag acting on ground rope and hydraulic resistance of netting there as a results of many considerations on weight distribution of ground rope and the design of lacing lines.

目 次

第1章 諸言	
1.1 研究の目的	
1.2 本研究に関連した研究の概要	
第2章 グランドロープの構成と機能	
2.1 グランドロープの構成	
2.2 グランドロープの機能	
2.3 グランドロープの重量分布	
第3章 曳網時におけるグランドロープ形状の理論的解析	
3.1 グランドロープ形状の予備的観察	
3.1.1 材料および方法	
3.1.2 観察結果	
3.2 曳網時のグランドロープ形状の力学的解析	
第4章 抵抗係数の決定	
4.1 流体抵抗係数	
4.2 底面抵抗係数	
4.2.1 材料および方法	
4.2.2 実験結果および考察	
第5章 構成の異なる模型グランドロープの形状と抵抗の実験的検討	
5.1 材料および方法	
5.2 実験結果	
5.3 考察	
第6章 グランドロープの形状と漁具性能	
6.1 魚の駆集モデル	
6.2 グランドロープの形状別の漁具性能	
6.3 考察	
第7章 総合考察	
謝辞	
文献	

第1章 諸 言

1.1 研究の目的

底びき網は底棲の魚類などを効率よく漁獲することができる漁具である。わが国では内海、内湾での桁などを使用する小型底びき網から沿岸や沖合いを漁場とする一そうびき網漁業、東シナ海を主な漁場とし、わが国の伝統的な手繰り網を原型として発達した二そうびき網漁業、明治時代にヨーロッパから導入され全世界の海洋を漁場として操業しているトロール網漁業などが行なわれている。わが国では底びき網漁業による漁獲量は総漁獲量の約20%を生産し、主要な漁業となっている。

わが国における底びき網漁業は第二次世界大戦後の漁場の外延的拡大にともなって急速に発展した。漁具の研究も多方面より取り組まれたが、その主たる目的は底びき網の漁獲性能の増大にあった。1960年代前半から漁具資材として合成繊維が使用され、耐久性が著しく向上し、また流水抵抗の減少は漁具規模の拡大に寄与した。漁船の船型が船尾型へ転換し、それに伴って漁船の大型化、主機関の高馬力化が生じた。これに対応してより高い漁獲性能を

得るために網漁具の構造に変化が起きてきた。曳網中の底びき網の形状は漁獲性能に大きく影響するので、漁獲対象魚種に応じた漁具形状を形成するため、漁具設計には大きな関心が払われてきた。これまで行なわれた研究の主な目的は網口の高さを増大させることであった。多大な努力の結果、網地構成を従来の二枚型から四枚型へ、さらに六枚型へ転換することで所期の目的を達成した。また、漁具の大型化による抵抗増加は船型の大型化と高馬力化で解決した。その過程で集積された経験と知識により漁船規模と対象魚種に応じた漁具の設計も可能になってきている。底びき網は袖網や身網とグランドロープとが相互に影響を及ぼし合って漁具としての機能をはたすものである。しかし、グランドロープについてはその設計指針が経験的手法に依存し、漁具を海底に接地させることにのみ関心が向けられている。近年における曳網速度の高速化、漁船の高馬力化に伴って、グランドロープの設計は漁具の離底防止の観点からのみ着目されたため、グランドロープの重量は著しく増加した。

1970年代に起きたオイルショックによる燃油価格の高騰から、省エネルギー化のために抵抗の小さい漁具の必要性が高まっている。また、200海里体制の定着と漁業資源の減少が叫ばれている今日、適切な漁業管理のための選択的漁法が求められている。このような要求を満足させるためには網の構造の改良だけでは対応することができず、これまでの発想にとらわれないで新しい視点から漁具を見直す必要がある。

1.2 本研究に関連した研究の概要

底びき網の研究はこれまでに数多く行なわれている。それらの研究は、実物網に直接測定器を装着して漁具の水中における物理的性状を測定する方法、潜水により実物網を目視、または光学機器を使用して観察する方法、および模型網を使用して水槽で実験する方法の3種に大別できる。

実物網に直接測定器を装着して漁具の物理的性状を測定する方法では熊凝ら^{1,2)}、葉室³⁾により自記式測定器の開発がされて、網漁具の到達深度、張力、グランドロープの展開角度、底びき網内部の流速および網の開口部の高さを連続的に測定できるようになった。これらの測定器を使って葉室ら⁴⁾、葉室⁵⁻⁷⁾によって各種の底びき網について網の各部の高さ、曳網の張力、沈子網の形状などが測定された。Nicholls⁸⁾は独自に開発した各種の計測器によりトロール網の曳網中の緒元を計測している。高山ら^{9,10)}は超音波を利用してトロール網の袖先間隔や網口高さの測定を試みている。Katoら¹¹⁾は漁場での魚群探知機の記録像面積と入網量が比例していることを明らかにし、また加藤¹²⁾は魚探記録の解析から網口での魚群の入網が袖網沿いであることを報告している。水中および船上で測定記録のできる計測機器を使用して曳網時におけるワープ張力、網抵抗、網高さ、網類にかかる張力などを測定する海上実験が谷口ら^{13,14)}、不破ら¹⁵⁻¹⁸⁾、秋重ら¹⁹⁾によって行なわれている。小山^{20,21)}はトロール網のワープ張力を計測して主機関馬力との関係を求め、さらに小山²²⁾はワープ張力の計測結果を解析してトロール網の設計図から曳網時の抵抗を求める近似式を提示した。天下井²³⁻²⁵⁾は曳網中の漁船の運動とワープ張力変動との関係を調べて、最大張力が予測できることを明らかにした。

曳網中の底びき網の水中観察では、宮崎²⁶⁾は小型底びき網の網成りと魚の対網行動を調べ、斎藤ら²⁷⁾は小型潜水艇によって一そうびき網のすり網の動きを観察している。また

Marine Laboratory²⁸⁾, Thorsteinsson²⁹⁾, Hemmings³⁰⁾ は一そうびき網の潜水観察を行ない、魚の対網行動や海底上のすり網の動態を観察している。Russel³¹⁾, Libingstone³²⁾ は水中テレビをコッドエンド内に設置して、魚の底びき網内部での行動を調べている。Main ら³³⁻³⁷⁾ は潜水者が搭乗できる曳航式水中探査艇を開発し、高感度水中ビデオカメラを使用してオッターボードや網の動態と魚群の対網行動を連続的に観察した。Main ら³⁸⁾ は魚種ごとの対網行動の差を利用した選択漁獲を目的としてトロール網の曳網実験を行なっている。Blaxster ら^{39,40)}, Capman⁴¹⁾ は漁具が発する物理的的刺激が魚群行動に及ぼす影響について実験して、視覚や振動感覚により魚が駆集されることを明らかにしている。Wardel⁴²⁾ は底びき網漁具に対する魚群の行動を水中観察した結果に基づいて、魚の遊泳能力、視覚や聴覚などを検討している。草下⁴³⁾ は底びき網の袖網による駆集効果について小型水槽で実験を行ない、網目の大きさと駆集網の色との関係について検討している。鈴木⁴⁵⁾ は定置網の垣網による誘導効果について大型水槽で実験を行なって、網目の構成法および材料の相違による影響について検討している。また網漁具に対する魚群の行動については、宮本⁴⁶⁾ の綜述もある。

模型実験により漁具の物理的諸値を計測して検討する方法は Tauti⁴⁷⁾ によって漁網の比較則が確立されて以来、打瀬網について宮本⁴⁸⁾、底びき網について野村ら⁴⁹⁾、底層曳網について小池⁵⁰⁾、中層曳網について小倉⁵¹⁾、パッチ網について野々田⁵²⁾、トロール網について本多⁵³⁾、高山ら⁵⁴⁾、小山⁵⁵⁾、肥後ら⁵⁶⁾、不破ら^{57,58)}、唐ら^{59,60)}、李⁶¹⁾ などによって模型実験が行なわれ、それぞれの曳網条件下における網高さ、曳網抵抗などが明らかにされてきた。谷口⁶²⁻⁶⁵⁾ は網口高さに影響する浮力の効果は二次的であり、補助力網の使用と三角網の挿入により網口高さを向上できることを明らかにした。Nomura ら^{66,67)} は網口高さと漁具構造との関係について検討している。肥後⁶⁸⁾、李ら⁶⁹⁾ は模型実験結果と漁獲試験結果から数種の底びき網の漁獲性能指数を求めて相互の比較を行なっている。

縮小模型によらず単純化した模型の特性を見出す試みもされている。谷口⁷¹⁻⁷⁴⁾ は使用網地や構成方法の等しい囊網の抵抗は網口面積や使用網地量の変化に影響されないことを明らかにした。肥後⁷⁵⁾ は円錐網の網中流速を測定し、李⁷⁶⁾ は単純化した袋網模型の断面形状と抵抗の関係につき検討している。Kawakami ら⁷⁷⁾、Suzuki ら⁷⁸⁾ は底びき網のグランドロープについて、また Suzuki⁷⁹⁻⁸⁶⁾ は底びき網のすり網の運動について力学的解析、および模型実験を行なっている。

葉室⁸⁷⁾、神田⁸⁸⁾、肥後⁶⁸⁾ は同時に同漁場で操業した底びき網漁船の漁獲量を比較することで底びき網の漁獲性能を検討している。曳網時における底びき網のグランドロープや曳索の運動の実測は葉室^{3,87,89)} が行なっただけである。山田⁹⁰⁾ は二そうびき網の曳索を漁場で採取した砂泥を敷いた水槽で曳行して定性的な観察を行なっている。本田ら⁹¹⁾ は砂質の海底を移動するアンカチェーンの動摩擦係数を実験的に求めている。海底上を移動するアンカチェーンの抵抗について浦ら⁹²⁾ は砂槽でアンカチェーンを単純化した平板模型を使用して迎角と砂を切る深さを変えた実験を行ない、単位長さに働く接線分力と法線分力から抵抗を求めている。また、底びき網の海底との接地抵抗について Fujishi ら⁹³⁾ は小型底びき網を泥質の漁場で着底、および離底して曳網し、両者の抵抗差から底びき網の接地抵抗は全抵抗の約30%という値を得ている。不破¹⁷⁾ はトロール網を砂質の漁場で曳網して抵抗を実測し、模型実験から求めた抵抗との差から、底びき網の接地抵抗は全抵抗の約30-35%という値を

得ている。MacLENNAN⁹⁴⁾ は4枚仕立てのトロール網12種の曳網抵抗について網地面積に比例した実験式を示し、実測値と実験式に基づいて計算した網地抵抗との差から接地抵抗は全抵抗の約25%であり、曳網速度に依存しないと報告している。また、移動床を使った模型網実験で宮本⁴⁸⁾、本多⁵³⁾ は底面との摩擦力は速度に依存しないことを明らかにしている。

従来行なわれてきた底びき網の多くの研究は底びき網の漁獲性能を増大させることが主体であって、曳網時のグランドロープの抵抗や形状と魚の駆集効果などの機能に関する研究は非常に少なく十分明らかにされていないのが現状である。そこで著者は本研究において、まず現在使用されている代表的な底びき網、一そうびき網、二そうびき網、トロール網のグランドロープの重量構成について調べた。特に、同じひき回し型の底びき網である二そうびき網とトロール網のグランドロープについて比較検討した。次いで、曳網中のグランドロープの形状については、グランドロープを微小部分に分割して、そこに作用する力の釣り合いを考えて力学的な解析を行い、理論的にグランドロープの形状を決定する方法を提示した。さらに、魚の漁具に対する反応行動を考慮したグランドロープによる魚の駆集モデルを設定し、グランドロープの形状と漁具性能について考察した。これらの結果に基づいて、最も合理的なグランドロープを設計するための基礎を確立した。

第2章 グランドロープの構成と機能

2.1 グランドロープの構成

わが国で操業されている主要な底びき網漁業は Fig. 2-1 に示すようなトロール網漁業、二そうびき網漁業、一そうびき網漁業である。ヘッドロープは網の上辺に取り付けられ浮力によって上向きの力を与えるものである。一方グランドロープは網の下辺にあって網地にす

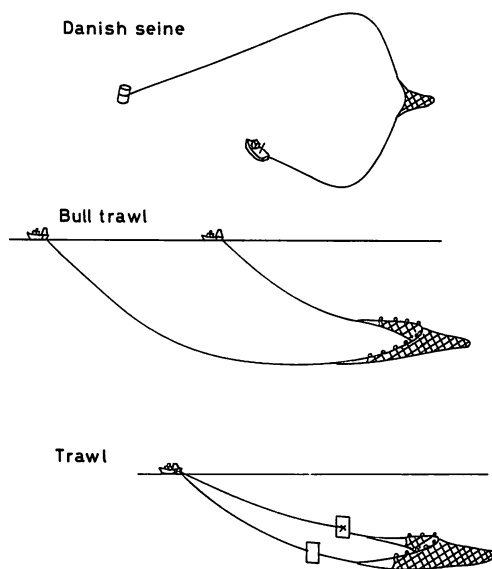


Fig. 2-1. Illustration of drag nets typically used in Japan.

き間なく装着されており、漁具に対して沈降力によって下向きの力を与えるものである。グランドロープは漁具を海底に接地させ海底の起伏に対して柔軟に追従することが必要である。グランドロープは沈子類とロープ類とで構成されている。そのため、グランドロープを構成する沈子類は沈降力が大きく堅牢で破損しにくい自然石、陶器、鉛、鉄、合成ゴムなどが使用され、ロープ類では藁、マニラ麻などの天然繊維、ビニロン、ナイロンなどの化学繊維、およびワイヤーロープが使用されている。使用されている沈子の形状についてその代表的なものを Fig. 2-2 に示す。形状は球、円筒、円盤、円環、索などであり、連結時の柔軟性を考慮して個々の沈子の長さは直径の約1～2倍程度となっている。このような形状をした沈子が単独あるいは複合して連結しグランドロープを構成している。わが国で使用されている代表的な三種の底びき網のグランドロープについて漁船の規模別に、重量、平均比重をまとめたものが Table 2-1 である。漁船の規模に応じてグランドロープの長さは異なるが、その平均比重は底びき網の種類ごとにほぼ一定であり、トロール網では約1.5、二そうびき網では約1.6、一そうびき網では約2.1となっている。その構成方法は漁場の底質、起伏の大小、

Table 2-1. Specifications of ground ropes used in three types of drag nets.

Net	Type	Gross ton. (ton)	Horse power (ps.)	Length (m)	Weight Air/Water (kg)	Specific gravity
Trawl	Bobbin	314	1200	57.7	1240/359	1.40
—	—	1500	2700	73.0	1426/630	1.79
—	—	1500	2700	78.1	1153/658	2.33
—	—	1850	3150	78.3	2988/624	1.26
—	—	1850	3150	76.4	2360/700	1.42
—	—	3000	3500	76.8	2500/754	1.42
—	—	2900	3150	64.3	2030/495	1.32
—	Wooden* ¹	1425	2000	55.9	958/400	1.71
—	Bobbin	2970	3500	78.3	3662/752	1.26
—	—	2300	3200	79.1	2900/759	1.35
—	Wooden* ¹	2000	2700	69.3	1700/620	1.57
—	Bobbin	279	3500	83.0	4872/1615	1.50
—	—	279	3500	83.0	5358/1635	1.45
—	—	349	3400	90.5	3800/1368	1.56
—	—	279	3500	108.0	5826/1807	1.45
Bull* ²	—	170	800	61.0	1647/650	1.65
—	—	200	1000	170.2	1562/557	1.59
—	—	170	800	61.1	1808/668	1.59
—	—	195	800	175.6	1662/583	1.54
—	—	195	800	147.0	1396/530	1.61
—	Wrapping	195	800	98.0	600/234	1.64
—	Bobbin	171	650	128.6	1072/390	1.57
—	—	190	600	184.9	1268/457	1.56
—	—	195	600	105.9	2607/993	1.62
—	—	150	600	64.1	1547/555	1.54
—	—	195	600	75.1	2020/773	1.57
Danish* ³	China	75	270	72.9	130/69	2.14
—	—	70	250	66.3	92/49	2.16
—	—	100	450	84.3	98/52	2.14

*¹: Wooden bobbin, *²: Bull trawl, *³: Danish seine

目的魚の生態、船の曳網力、漁法などによって様々であり⁹⁵⁻⁹⁸⁾、その代表例を Fig. 2-3-a, Fig. 2-3-b に示す。砂泥質の海底を漁場とする小型底びき網の場合、特にかけまわし式一そうびき網ではグランドロープやチェーンに古網やストランドなどを巻いたものを使うことが多く、でき上がり寸法は芯に使用しているワイヤーロープやチェーンの直径の2~8倍となっている。その構造の一例を Fig. 2-3-a(a) に示す。

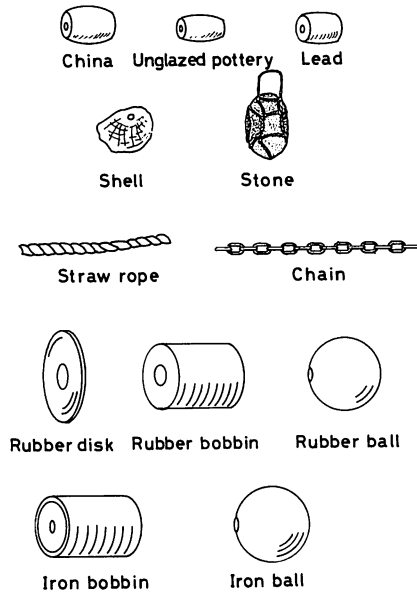


Fig. 2-2. Schematic diagram of shape and materials used in ground rope.

小型底びき網のうち開口装置としてビームを使うものでは曳網速度が比較的速いので、Fig. 2-3-a(b) に示すような鉛、陶器、自然石などを芯となる網に通したグランドロープを使用している。岩礁帯を曳網する場合には耐摩耗性が要求されるので Fig. 2-3-a(d) に示すような中空の鉄ボビンを使っている。

また、東シナ海を漁場とする二そうびき網では、昭和30年代までは Fig. 2-3-a(a) に示す巻きグランドロープが一般的であった。しかし、このグランドロープは少し底質が粗いと減耗がひどくなる欠点があるために、円筒型の木製ボビン(木沈子)や木製ボビンに鉄バンドを取り付けたものが用いられるようになったが、昭和40年代になり船型が船尾型に変化して漁具規模が大型化した後ではゴムボビンや鉄球をワイヤーロープに通したグランドロープが使用されるようになった。代表的なボビングランドロープの構成方法を Fig. 2-3-a(e) に示す。

高速曳網型のトロール網のグランドロープは比較的平坦な漁場ではゴムボビンが主体であるが、底質が粗く起伏の激しい漁場では Fig. 2-3-a(f), Fig. 2-3-b(h) に示したような大型の鉄球やゴム球を組み合わせたもの、あるいは自動車タイヤを連結したグランドロープを使用している。

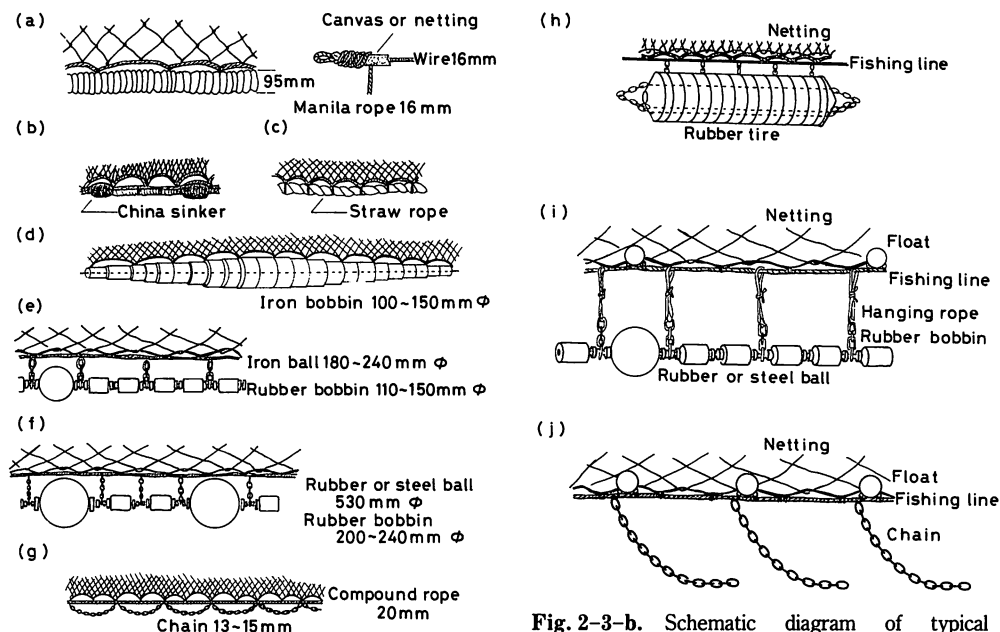


Fig. 2-3-a. Schematic diagram of typical ground rope: (a) "Maki ground rope" wrapped with netting and rope, (b) China sinker ground rope for small drag net, (c) Straw rope ground rope for muddy bottom, (d) Iron bobbin ground rope for rocky bottom, (e) Bobbin type ground rope, (f) Ground rope for rough bottom, (g) Ground rope for shrimp trawl net.

Fig. 2-3-b. Schematic diagram of typical ground rope: (h) Tire ground rope for rough bottom, (i) Hanging type ground rope for selectively avoiding halibut and king crab, (j) Hanging chain type ground rope for selectively avoiding halibut and king crab.

以上のようにグランドロープは海底に着底させて使用するのに対して、泥質の漁場でエビ (*Penaeus. sp*) を対象とするダブルリグトロールでは Fig. 2-3-a(g) に示すようにグランドロープに直径 10~12 mm のコンパウンドロープにチェーンを取り付けて使用され、その重量を調整することでグランドロープ自身は海底には直接接触せず 10~15 cm 程度離底させて曳網するようになっている。

2.2 グランドロープの機能

ヘッドロープは網の上辺で浮力によって漁具に上向きの力を与えるのに対して、グランドロープは沈降力によって漁具に下向きの力を与える。グランドロープは海底の起伏に追従して網の接地性を維持しつつ、海底上を移動して魚群を網口に駆集したり、また、海底と網との間にあって漁具の損耗を防止する、海底と網地との間隔をあけて漁獲する魚種を選択するなどの機能をもっている。平坦な海底では漁具の接地性を保つことは底着性の魚種が逃出するのを防ぎ漁獲するために必要である。グランドロープの沈降力はどの部分でも漁具に作用

する上向きの力以上の大きさがあって接地性を保つ上で、それらの力に部分的な不均衡が生じていないことが必要となる。このような理由からグランドロープの重量配分は浮力配分に対応した形で行なわれている。

底びき網は海底と常に接触しているので摩擦による摩耗は免がれることはできない。そこで海底との摩擦や海底突起物との纏絡による漁具の損耗を防止するためにグランドロープのボビンや球の直径を大きくしたり (Fig. 2-2-a(f)), 自動車タイヤを連結したり (Fig. 2-2-b(h)), 海底の起伏によって網地が破網しないように種々工夫している。また、グランドロープに短いチェーンと小さい浮子との組み合わせを使ってチェーンを浮力に釣り合う長さだけ浮上させる方式のグランドロープ (Fig. 2-2-b(j)) では海底までの間隔を一定に保ち網漁具の損耗を防いでいる。

泥質の海底ではグランドロープが泥の中に入り込み泥が入網しないように直径を大きくして比重を小さくした捲きグランドが使用されることがある (Fig. 2-2-a(a))。魚群を駆集するという観点からは海底に接地している手網や一そうびき網の曳索もグランドロープとして機能している。魚群の駆集はグランドロープ自身やそれにより発生する砂煙による視覚刺激、接触刺激、振動や音響刺激によるといわれている³⁹⁻⁴²⁾。魚は漁具の接地部分に囲まれてもすぐにその場所から逸脱することなく、その前方へ遊泳して定位している。しかし、時間の経過により再びグランドロープに接近、接触して前方へ遊泳して定位する。このような遊泳動作を繰り返すうちにグランドロープより後方へ脱落するものもあるが、魚群は網口に次第に集積されて行く。

漁獲対象魚の漁具に対する反応行動を利用して魚種を選択的に漁獲するためのグランドロープもある⁹⁸⁾。オヒョウやタラバガニなどの漁獲が禁止されている北洋漁場ではグランドロープの吊りチェーンを通常より長くして網地と海底との間隔を広げているグランドロープ (Fig. 2-3-b(i)) が定着性の強いカレイ類、カニ類を漁獲せずに遊泳性のタラ類などを漁獲するために使用されている。また二統曳きエビトロールのグランドロープ (Fig. 2-3-b(g)) はエビを選択的に漁獲するためにコンパウンドロープにチェーンをたるませて取り付けたもので、網は海底上約 10-15 cm 程度離れて曳網されるのでゴミ、雑魚等の入網が少なく起こしチェーンで威嚇されて跳び上がったエビ類のみが漁獲されるようになっている。

2.3 グランドロープの重量分布

底びき網は大別すると一そうびき網、二そうびき網、トロール網があり、その漁法はグランドロープの構成に大きく影響している。これら三種の底びき網の浮力と沈降力についてヘッドロープ、またはグランドロープの単位長さ当たりの値を求め、比較したものが Fig. 2-4 である。ここではヘッドロープおよびグランドロープの構成は左右対称であるので半分について示している。一そうびき網のグランドロープは小型のゴムボビンなどを芯ロープに通した軽構造なのに対して、他二者が重構造である。このことはひき寄せ型とひき回し型という漁法の違いに起因していると考えられる。また、漁具の移動速度は一そうびき網では、0.5~1ノットと非常にゆっくりしており、二そうびき網では2.5~3ノット、トロール網では3.5~4ノットとなっており、一そうびき網は他二者より非常に遅いことが起因しているものと考えられる。同じひき回し型の底びき網である二そうびき網およびトロール網のグラ

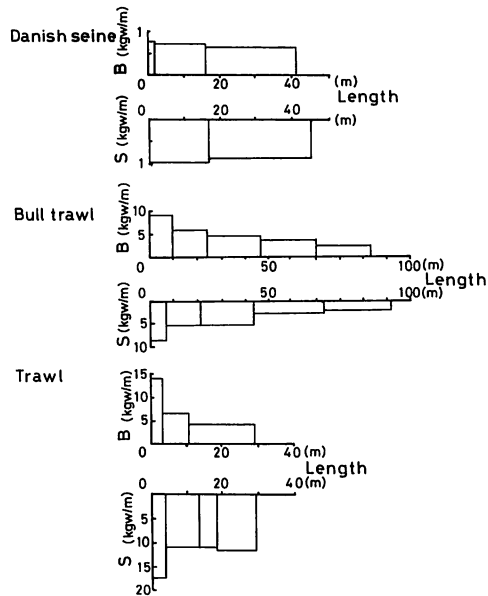


Fig. 2-4. Buoyancy (*B*) and sinking weight (*S*) distribution of three types of ground ropes.

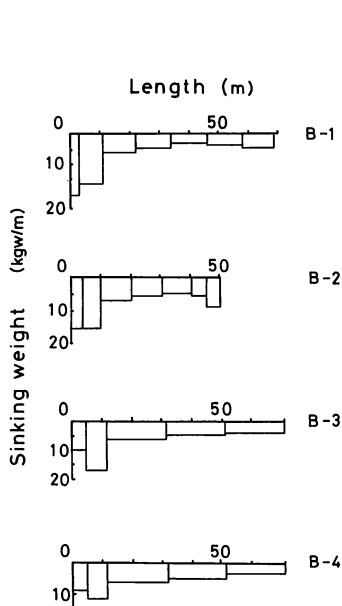


Fig. 2-5. Schematic diagram showing weight distribution of ground rope for bull trawl; B-1 200 ton type, B-2 200 ton type, B-3 150 ton type, B-4 150 ton type.

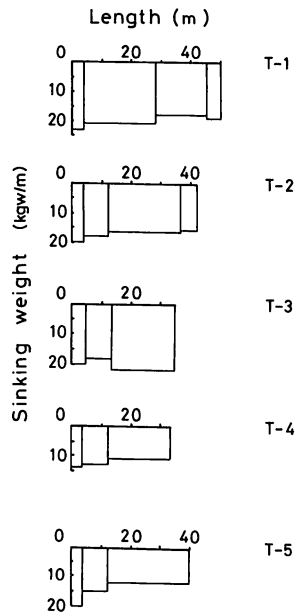


Fig. 2-6. Schematic diagram showing weight distribution of ground rope for trawl; T-1 279 ton type, T-2 279 ton type, T-3 279 ton type, T-4 349 ton type, T-5 349 ton type.

ンドロープの重量構成の一例を Fig. 2-5, Fig. 2-6 に示す。底びき網漁具は個々の漁船に応じて設計されるものでありその大きさも様々である。そこで相互に比較できるように Fig. 2-5, Fig. 2-6 の資料についてグランドロープの各部分の長さは全長で、単位長さ当たりの沈降力はグランドロープの平均沈降力で除し、それぞれを無次元化して表示したものが Fig. 2-7, Fig. 2-8 である。これより両者のグランドロープの構造的な差異が顕著に見られる。二そうびき網では中央に向かって沈降力が次第に増して中央部分に大きな重量配置しているのに対して、トロール網ではグランドロープの重量は大きい、部位による沈降力の差は小さい。単位長さ当たりの浮力と沈降力が二そうびき網ではほぼ等しいのに対してトロール網では沈降力が約70%大きくなっている。また、グランドロープを構成する資材はいずれの漁具でもゴムボビンや鉄球であるが、部位別の重量構成をみると二そうびき網では、全長が長く中央にかけて漸増してゆき中央部では両端部の3~4倍となっている。これに対してトロール網では、全長は短くて単位長さ当たりの重量は大きく部位別の重量差はほとんどない。中央部に大重量を配置することは網口中央部の高さを増すための浮力の配置に対応したもので底びき網のグランドロープでは一般的である。同じひき回し型である二そうびき網とトロール網はいずれも船の移動によって漁具を曳行して漁獲する漁法であるが、そのグランドロープ構成に差がみられる。二そうびき網は海底が平坦で砂泥質の東シナ海の漁場で発達した漁業であり、グランドロープは接地性がよくて海底に潜入しないことが要求されてきた。このことが水中部分にワイヤー、接地部分にコンパウンドロープという長い曳索の使用と相

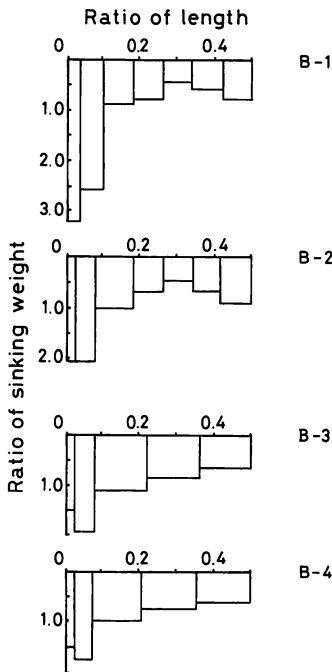


Fig. 2-7. Non-dimensional diagram showing weight distribution of ground rope for bull trawl.

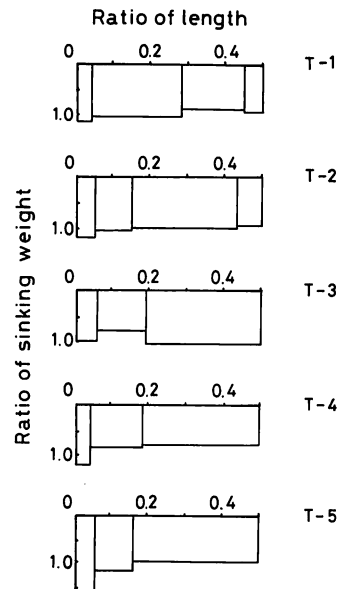


Fig. 2-8. Non-dimensional diagram showing weight distribution of ground rope for trawl.

互に影響してこのような形態になったものと考えられる。トロール網は高速で曳網して単位時間当たりの掃海面積と濾水容積を増やして漁獲性能を上げるものである。高速で曳網するため海底に接地している手網や袖網の駆集効果は小さく、抵抗を減少させるため袖網は短くなっている。曳網速度を速くしてなおかつ漁具の接地性を維持していくために大重量となっている。

同時期、同漁場で二そうびき網とトロール網が操業した場合の両者の単位努力当たり漁獲量を比較した結果^{68,87,88)}によると二そうびき網のほうが漁獲性能が高い。神田⁸⁸⁾はこの理由として両者の漁獲物組成の差から二そうびき網では沈子網が軽く海底を掃くのに対して、トロール網ではオッターボードにより沈子網を海底に押し込むように曳網するためであると述べている。

両者とも漁具の接地性を保って魚群を駆集するという底びき網のグランドロープとしての機能は同じであるが、グランドロープの部位別の重量配分には大きな差が認められる。そこで、このグランドロープの重量配分の違いをとりあげて漁具性能に対する影響について検討していくことにした。

第3章 曳網時におけるグランドロープ形状の理論的解析

3.1 グランドロープ形状の予備的観察

3.1.1 材料および方法

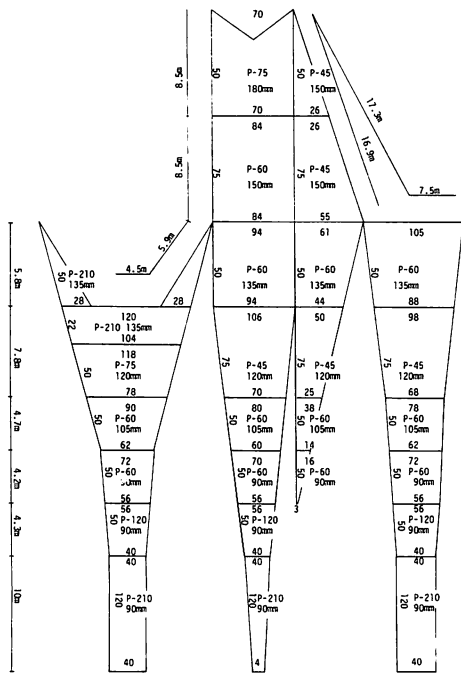


Fig. 3-1. Plan of trawl net used in experiments.

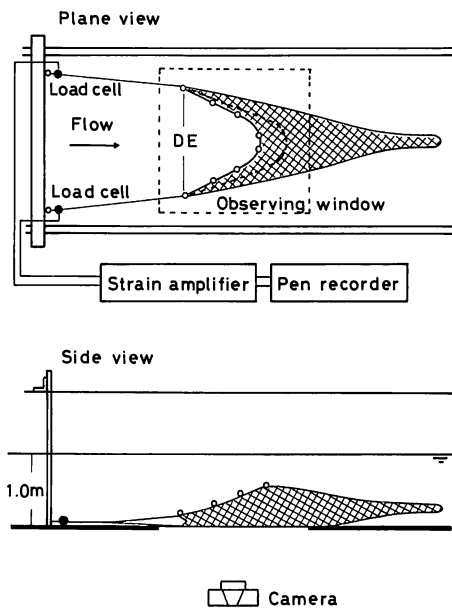


Fig. 3-2. Schematic diagram of experimental apparatus used for testing model net in circulating tank.

海底上を移動するグランドロープには海底から受ける底面抵抗（動摩擦力，砂抵抗）と流体抵抗，および網地の受ける流体抵抗が作用しており，それらが相互に影響しあって一定のグランドロープ形状をなすものと考えられる。海上で曳網されている底びき網のグランドロープの形状を直接測定することは困難であり，研究の端緒として模型網を使用した実験からグランドロープの形状を観察することにした。

実験は鹿児島大学水産学部大型回流水槽で行なった。実験に使用した底びき網は現在一般に使用されている6枚構成のトロール網の1/40縮小模型網であり，Tauti⁴⁷⁾の漁網の比較則に従って製作した。その設計図および仕様の概要を Fig. 3-1, Table 3-1 に示す。模型型のグランドロープにはクレモナ糸（直径1.2 mm）に板鉛を巻いて所定の重量に調整した。Fig. 3-2 に示した模式図のような方法で流水中で模型網を移動させた後に静止させて形状を観察した。袖先間隔は海上での測定結果を考慮して，プーリーによってヘッドロープ長の30, 45, 60%の3段階に設定し，流速を0~80 cm/s（実物換算0~4.5 kt.）まで8段階に変えて，袖先間隔別にグランドロープの形状を水槽下面の観察窓から35 mmカメラで写真撮影した。また，後述するような重量構成が異なるグランドロープを砂地の海底で曳行して形状を観察した。

Table 3-1. Summary of experimental trawl net.

Head rope length	38.7 m
Ground rope length	49.8 m
Buoyancy of float	290 kg
Sinking weight of ground rope	330 kg

3.1.2 観察結果

Fig. 3-3 は上述の実験において水槽下面の観察窓から撮影した写真，およびグランドロープを砂地の海底で曳行した時の写真の一例である。グランドロープは大きく湾曲し，ほぼ左右対称な形状をしている。これまでの研究ではグランドロープの形状は懸垂線として近似できるとされている⁶⁾。そこで，測定したグランドロープ形状を懸垂線にあてはめてみた⁹⁹⁾。

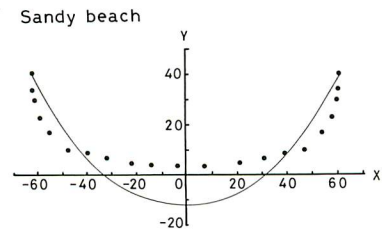
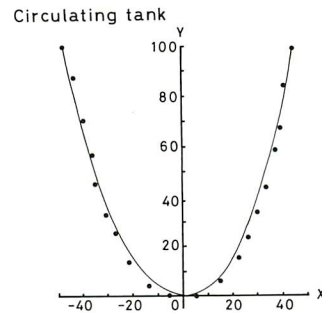
回流水槽で測定した模型網のグランドロープの形状と砂地の海底でグランドロープを曳行した時の形状を懸垂線で近似した結果の一例を Fig. 3-4 に示す。回流水槽の場合には，グランドロープの形状は流速の変化にはほとんど影響されず，懸垂線にほぼ一致するが，砂地の海底を曳行した場合には一致していない。このことは，前者では底面がガラスであるので底面との動摩擦力は非常に小さくなり，単位部分に作用する力は流体抵抗がほとんどであると考えられる。しかし，後者では単位部分には流体抵抗と底面抵抗が作用しており，これらの力は単純な形で表わせないためと考えられる。そこで本研究ではグランドロープの形状を求める手法について考えた。

3.2 曳網時のグランドロープ形状の力学的解析

曳網時のグランドロープに作用する力の諸関係は模式的に示すと Fig. 3-5 のようになる。曳網時に一定の形状をしているグランドロープを近似的に n 個の微小線分に分割して i 番



Fig. 3-3. Photograph of model net from bottom of circulating tank (above) and that of model ground rope at sandy beach (below).



• Measured — Calculated unit:cm

Fig. 3-4. Approximation of catenary to shape of ground of model net in circulating tank (above) and that of model ground rope at sandy beach (below).

目の長さを S_i とすると、その微小線分には R_i なる力が働いている。この力は網地の受ける流体抵抗とグランドロープが受ける流体抵抗、および海底上を移動する時に底面から受ける力からなるものと考えられる。Fig. 3-5 に示した力学的諸関係は次のように書き表わすことができる。

微小線分の両端では接線方向に働く力が釣り合っていることから、

$$T_i + \Delta T_i = T_{i+1} \tag{3-1}$$

垂直方向の力の釣り合いを考えれば、

$$V_i + \Delta V_i = V_{i+1} \tag{3-2}$$

水平方向の力の釣り合いを考えれば、

$$H_i + \Delta H_i = H_{i+1} \tag{3-3}$$

ここで R_i は次のようにおくことができる。

$$R_i = \sqrt{\Delta F_i^2 + \Delta L_i^2} \tag{3-4}$$

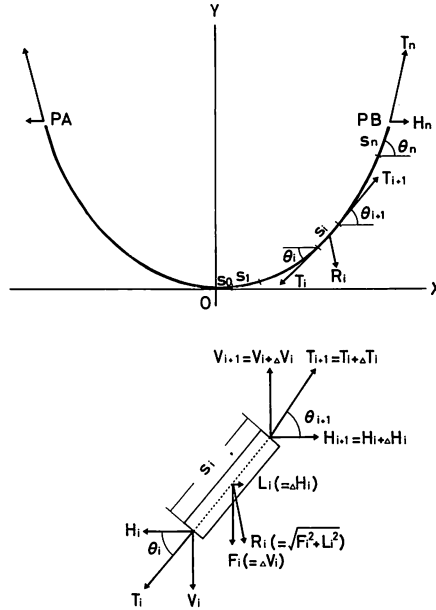


Fig. 3-5. Schematic diagram of force acting on ground rope under towing condition. F_i : Drag force acting on unit length, T_i, T_{i+1} : Tension at unit length, H_i, H_{i+1} : Horizontal tension at unit length, V_i, V_{i+1} : Vertical tension at unit length, S_i : unit length, θ_i : angle of H_i to V_i

微小線分の接線方向の力 T_i と水平方向の力 H_i とがなす角度 θ_i は、

$$\tan \theta_i = \frac{V_i}{H_i} \tag{3-5}$$

- T_i, T_{i+1} : 微小線分の両端における張力
- H_i, H_{i+1} : 微小線分の両端における水平方向の力
- V_i, V_{i+1} : 微小線分の両端における垂直方向の力
- θ_i : T_i と H_i とのなす角度
- F_i : 微小線分に作用する力の垂直分力
- L_i : 微小線分に作用する力の水平分力

従って、頂点 O から n 番目のグランドロープの末端までの長さ、すなわちグランドロープ半分の長さ $S_n (\sum_{i=1}^n S_i)$ にある点 P_n の X 座標 X_n , Y 座標 Y_n は以下のように表わすことができる。

$$X_n = \sum_{i=1}^n S_i \cos \theta_i \tag{3-6}$$

$$Y_n = \sum_{i=1}^n S_i \sin \theta_i \tag{3-7}$$

グランドロープの半分の長さ S_n は

$$S_n = \sum_{i=1}^n S_i \tag{3-8}$$

さらに張力の垂直分力 V_n は F_i の和として以下のように表わされる。

$$V_n = \sum_{i=1}^n F_i \quad (3-9)$$

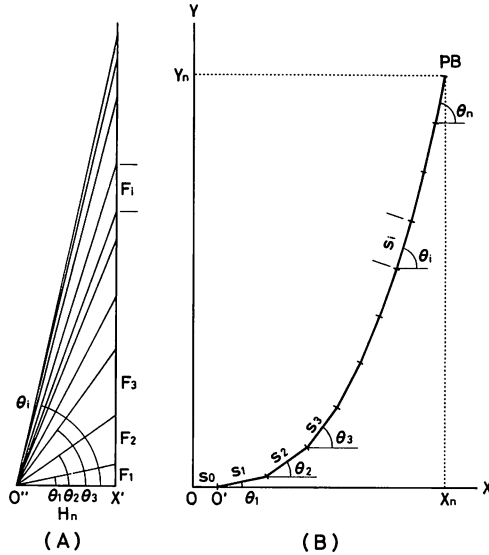


Fig. 3-6. Schematic diagram showing drawing method of approximated ground rope shape.

ここで、垂直分力 V_i 、水平分力 H_i 、曲線の長さ S_n を与えることができれば、曳網時のグランドロープの形状は (3-5) ~ (3-9) 式を使用することで決定することができる。しかし、グランドロープの単位部分に作用する力 V_i 、 H_i を単純な関数形で与えることができないのが一般的であり、グランドロープの形状を解析的に解くことは困難である。そこで以下に述べるような作図的方法によって近似的にグランドロープの形状を求めることにした。 H_i はグランドロープ上の場所により一定とおくことができれば、グランドロープの形状は試行錯誤的に求めることが可能となる。本論文では H_i を一定とみなして近似曲線を求めた。このような作図方法を模式的に表わしたものが Fig. 3-6 である。作図にあたっては、 S_i は一定で $S_0 = S_i/2$ とした。まず Fig. 3-6 の (A) で $O''X'$ に適切な値 H_n をとり、 X' から鉛直上方に微小線分に作用する力 F_i をとり、この先端より原点 O'' に直線を引く。ここで得られた角度 θ_i の直線を Fig. 3-6 の (B) で O' から微小線分長さ S_i だけ引く。次に F_2 を F_1 の先端に加算してとり、この先端と原点 O'' を結びこの角度を θ_2 として Fig. 3-6 の (B) で角度 θ_2 の直線をさきに引いた線分の先端から微小線分長さだけ引く。これら一連の作業を順次繰り返すことでグランドロープの形状を描くことができる。このとき、 X_n が実際のグランドロープ形状の両端間隔よりも過大となる場合には H_n は大きすぎ、また過小となる場合には H_n が小さすぎるので、両者の値を使って比例配分し、グランドロープ形状の両端間隔に一致する H_n を求めることができる。従って、曳網時のグランドロープの単位部分 S_i にかかる力の垂直分力 F_i の分布状態がわかれば、グランドロープ形状は求められる。

ここで F_i はグランドロープの曳行方向の力の成分の和であり、流体抵抗と底面抵抗（動摩擦力、砂抵抗）からなっている。これらの諸力は漁場の底質、グランドロープを構成している素材の形状や材質によって変化することが考えられる。曳網時には網地が受ける流水抵抗がグランドロープに作用しているが、グランドロープには網地が接続しており、網地が受ける流水抵抗はグランドロープのいずれの部分に対しても均等に作用するものと考えられる¹⁰⁰。従って、ここでは底びき網からグランドロープだけを抽出して別個に解析を行なった。そこでグランドロープに作用する力 F_i はそれぞれ次式で表わされるものとした。

(1) 岩盤上を曳行される場合には流体抵抗 D_{hi} と動摩擦力 D_{fi} が働き、

$$F_i = D_{hi} + D_{fi} \quad (3-10)$$

(2) 砂地の海底を曳行される場合には流体抵抗 D_{hi} 、動摩擦力 D_{fi} と砂抗力 D_{si} が働き、

$$F_i = D_{hi} + D_{fi} + D_{si} \quad (3-11)$$

そこで、グランドロープに作用する流体抵抗、動摩擦力、砂抗力はそれぞれ次のような関数として考えた。

$$D_h = f(\theta, \rho_w, S, v) \quad (3-12)$$

$$D_f = g(\theta, W) \quad (3-13)$$

$$D_s = h(\theta, \rho_s, d, s_i, v, W) \quad (3-14)$$

ρ_w : 流体密度

S : 移動方向に対する射影面積

v : 移動速度

θ : 単位部分が X 軸となす角度

W : 単位部分の重量

ρ_s : 砂の密度

d : 単位部分の直径

s_i : 単位部分の長さ

底びき網のグランドロープは前章で述べたように円筒形ゴムボビン、ゴム球、鉄球などを組み合わせて構成されている。そこで、次章ではグランドロープの単位部分に作用する諸力を求めるために模型実験を行なった。実験的にグランドロープを構成しているボビンや球の流体抵抗、および岩盤や砂との底面抵抗を求めることにした。

第4章 抵抗係数の決定

4.1 流体抵抗係数

前章で述べたようにグランドロープを構成しているボビンは球型や円筒型が多い。使用されている円筒型ボビンの直径は 10~20 cm, 球型ボビンでは 20~50 cm である^{95,96}。これらについて通常の曳網速度でのレイノルズ数を求めると、前者では $1.7 \times 10^5 \sim 2.2 \times 10^5$, 後

者では $2.3 \times 10^5 \sim 2.9 \times 10^5$ となる。このレイノルズ数の範囲では、流体抵抗は二乗則に従うことになり、抗力係数は円柱では1.0、球では0.5を使用すればよいことになる¹⁰¹⁾。

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho_w S v^2 \quad (4-1)$$

D : 流体抵抗

C_D : 抗力係数

ρ_w : 流体密度

S : 物体の流れ方向の射影面積

v : 速度

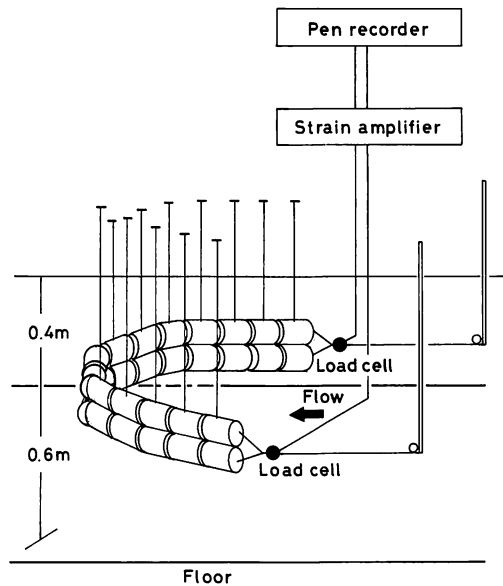


Fig. 4-1. Schematic diagram of measuring equipment used for testing model ground rope in circulating tank.

流れに対して $(90^\circ - \theta)$ だけ傾けて置かれた場合については、流れ方向に対して平行な抵抗と垂直な抵抗の比を A と置くと、単位長さ当たり作用する流体抵抗 D_{hi} は下式のように表わすことができる¹⁰²⁾。

$$\begin{aligned} D_{hi} &= \frac{1}{2} C_{D0} \rho_w d s_i \cos \theta_i v^2 + \frac{1}{2} C_{D90} \rho_w d s_i \sin \theta_i v^2 \\ &= \frac{1}{2} C_{D0} \rho_w d v^2 s_i (A \sin \theta_i + \cos \theta_i) \end{aligned} \quad (4-2)$$

C_{D90} : 流体抵抗係数 ($\theta = 90^\circ$)

$$C_{D0} : \text{流体抵抗係数 } (\theta=0^\circ)$$

$$\rho_w : \text{流体の密度}$$

$$d : \text{単位部分の直径}$$

$$s_i : \text{単位部分の長さ}$$

$$v : \text{速度}$$

$$\theta_i : \text{単位部分が X 軸となす角度}$$

$$A = \frac{C_{D90}}{C_{D0}}$$

円筒型ボピンを連結したグランドロープの流体抵抗は鹿児島大学水産学部大型回流水槽で測定した。後述する砂地の海底での実験に使用したグランドロープ模型（円筒型ボピン直径 6 cm, 長さ 9 cm, 20個で構成）を 2 本重ね併せて固定した鏡像模型を Fig. 4-1 に示すようにワイヤー（直径 0.6 mm）で水深 1 m の水槽内の水面下 40 cm に垂下した。両端間隔はグランドロープ全長の 30, 45, 60, 75% の 4 段階、流速は 20~70 cm/s の範囲で 6 段階に変えて、その時の索張力を 2 個のロードセルで測定し記録した。測定値は抵抗に変換し (4-1) 式によって両端間隔ごとにみかけ上の流体抗力係数 C_D を求めた。ここで、物体の流れ方向の射影面積 S は円筒型ゴムボピンの直径に両端間隔を乗じたものとした。求めた C_D とグランドロープ全長に対する両端間隔比との関係を Fig. 4-2 に示す。この図から流体の抗力係数は両端間隔比によってほとんど変化せず $C_D=0.45$ が得られた。

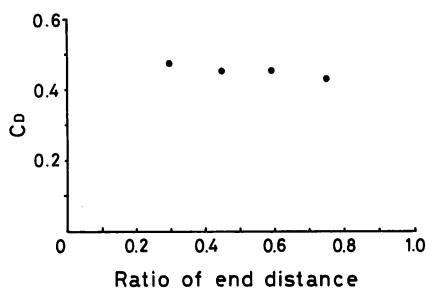


Fig. 4-2. Relationship between ratio of end distance and coefficient of drag.

4.2 底面抵抗係数

4.2.1 材料および方法

グランドロープの底面抵抗は底質の条件によって変化すると考えられるので底質の条件別に実験を行なった。漁場の底質として砂、泥および岩盤が想定されるが、泥は砂の粒子が非常に細かい場所であり、砂の実験で代表しうるものとした。砂の動態は水中と空中では基本的に等しいと考えられるので、底面抵抗の測定は、主として乾燥した砂を用いた室内実験を行ない種々検討するとともに、また比較のために十分散水したコンクリート床や水を満たした砂地での底面抵抗も測定した。

Table 4-1. Specifications of materials used in experiments.

Shape	Diameter (cm)	Length (cm)	Weight (gw)	Specific gravity	Materials	
Cylinder	6	9	230	1.1	Hard rubber	
-	-	-	314	1.5		
-	-	-	418	2.0		
-	-	-	590	3.0		
-	8	12	560	1.1		
-	-	-	700	1.5		
-	-	-	930	2.0		
-	-	-	1220	3.0		
-	10.5	15	865	1.1		
-	-	-	1298	1.5		
-	-	-	1573	2.0		
-	-	-	2310	3.0		
-	12	18	1740	1.1		
-	-	-	2162	1.5		
-	-	-	3490	2.0		
-	-	-	4792	3.0		
Sphere	10.5	+	243	0.3		ABS plastic
-	-	+	666	1.1		
-	-	+	999	1.5		
-	-	+	1212	2.0		
-	-	+	1818	3.0		
-	14	+	365	0.3		
-	-	+	1436	1.1		
-	-	+	2155	1.5		
-	-	+	2874	2.0		
-	-	+	4310	3.0		
-	15	+	452	0.3		
-	-	+	2082	1.1		
-	-	+	2839	1.5		
-	-	+	3786	2.0		
-	-	+	5300	2.8		
-	18	+	750	0.3		
-	-	+	3358	1.1		
-	-	+	4580	1.5		
-	-	+	6110	2.0		
-	24	+	1570	0.3		
-	-	+	7240	1.0		

i) 乾燥した砂による実験

乾燥した砂を使用した実験は室内で行ない、Fig. 4-3 に示すような装置を使用した。砂槽（幅 1.0 m、長さ 4.0 m、深さ 0.3 m）の上面枠の左右にレールを敷設して台車を走行させた。台車には鉄のアンクルで枠組みを行なって測定部を構成して、頂部の中心に丸鋼シャフトを取り付けた。シャフトの中間部には垂直性を維持するためのユニバーサルジョイントおよび 4 本のコイルバネを装着した。砂（見掛けの比重 1.5）をこの砂槽の中に約 9 cm 敷いた。実験には Fig. 4-4 に示すような粒度組成の異なる 3 種類の砂を用いた。なお、底面に敷いた砂の厚さは、予備実験を行ない底面の影響をうけないことを確認した。

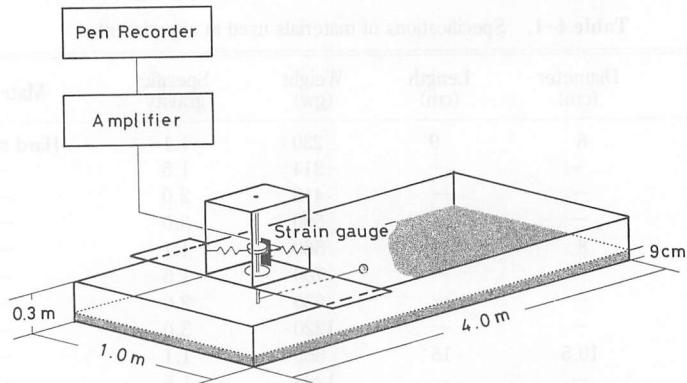


Fig. 4-3. Schematic diagram of measuring equipment used for testing model ground rope in sand tank.

測定に先立って移動速度の影響について検討するために、合成ゴム製の円筒型ボビン（直径 8 cm，長さ 8 cm，比重 2.6）と合成ゴム製の球型ボビン（直径 4 cm，比重 2.1）を使用して、移動速度を約 6~70 cm/s の範囲で変えて底面抵抗を測定した。

第一の実験として円筒型ボビン，または球型ボビンを一個だけ移動方向に対して直角 ($\theta = 0^\circ$) に設置して曳行した場合の底面抵抗を測定した。一般にグラウンドロープに使用されている資材の形状は，円筒型，球型が主体であり，円筒型では直径に対する長さの比が約 1.5 程度である^{95,96}。実験には幾何学的に相似な縮小模型を使用した。その材質は円筒型ボビン

Table 4-2. Specifications of materials used in experiments for testing length-ratio of cylinder.

Diameter D (cm)	Length L (cm)	Weight W_B (gw)	L/D
8	12	360	1.5
—	16	540	2.0
—	20	900	2.5
—	28	1260	3.0
10.5	10	580	1.0
—	15	870	1.4
—	20	1160	1.9
—	30	1740	2.9

Table 4-3. Specifications of materials used in experiments for measuring drag of bobbin at various lengths.

Shape	Diameter D (cm)	Length L (cm)	Weight (gw)	L/D
Cylinder	8	8	360	1.0
—	—	12	550	1.5
—	—	16	750	2.0
—	—	24	1080	3.0
Sphere	5	10	225	2.0
—	—	15	330	3.0
—	—	20	425	4.0
—	—	25	535	5.0

では硬質ゴム、球型ボビンでは硬質プラスチックであり、これらの模型の諸元は Table 4-1 に掲げる。一般に使用されているボビンタイプのグランドロープ自身の比重は約1.3~2.3の範囲にあるので (Table 2-1 参照)、実験は比重が0.3~3.0になるよう内部に鉛玉 (直径 2 mm) を充填して調整した。測定は Fig. 4-3 に示すように測定台車のシャフト下端にワイヤー (直径 0.3 mm, 長さ 50 cm) を取り付けて、その一端にボビン、または球を 1 個接続して測定台車を移動し、その時の底面抵抗を連続的に記録した。

次に直径と長さとの比が異なる円筒型ボビンを用いる移動方向となす角度を変化させ、底面抵抗を測定した。ボビンの傾きは円筒形ボビンの両端に取り付けた手網の長さを変えて行なった。円筒型ボビンが移動方向となす角度 ($90^\circ - \theta$) は $0^\circ \sim 90^\circ$ の 7 段階に設定して、上述の実験と同様の方法で底面抵抗を測定した。使用したボビンの諸元を Table 4-2 に示す。

さらに、直径の等しい円筒型ボビン、または球型ボビンを連結した模型を用い、移動方向となす角度 ($90^\circ - \theta$) を $0^\circ \sim 90^\circ$ の 7 段階に設定して、上述の実験と同様の方法で底面抵抗を測定した。使用したボビンの諸元を Table 4-3 に示す。これら一連の実験には Fig. 4-4 に示す A の粒度組成をもつ砂を使用した。

底質の粒度組成によってはグランドロープの動摩擦力と砂抵抗が変化すると考えられる。そこで Table 4-4 に示す直径が同じで重量の異なる球型ボビンを使用し、粒度組成の異なる砂 (Fig. 4-4 A, B, C) を使用して上述した実験と同様な方法で測定した。

また、底質の硬さは底面抵抗に影響すると考えられる。そこで、底質の硬さを変化させて上述の実験と同様な方法で底面抵抗を測定した。なお、底質の硬さは Fig. 4-5 に示すよう

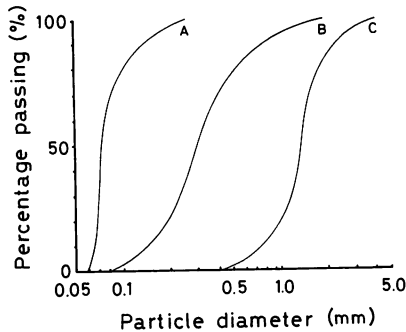


Fig. 4-4. Grain size distribution curve of sand used in experiments.

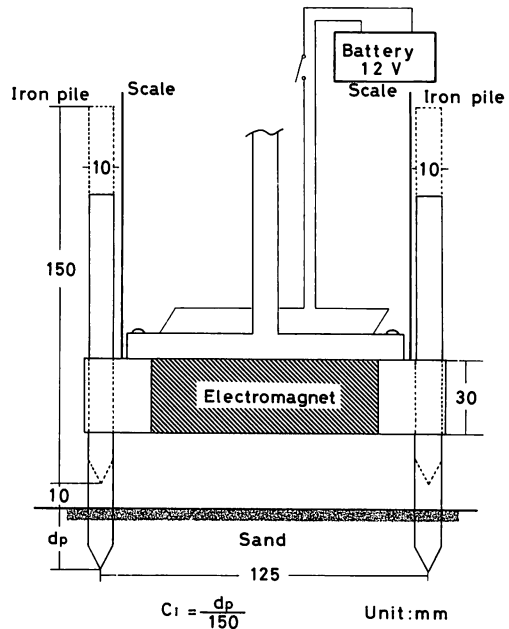


Fig. 4-5. Schematic diagram of measuring equipment used for testing of compaction index of sand in tank.

な装置を使用して測定した。一端を円錐型に切削した鉄シャフト（直径 10 mm，長さ 150 mm，中心角45°，重量 88 g）を電磁石で砂表面上 10 mm に保持し，スイッチを遮断して磁力を解除し，鉄シャフトを自由落下させた。この時，砂の中に貫入した深さ dp (mm) を読み取り鉄シャフト長さとの比 ($dp/150$) を求め，底質の硬さを表わす指標 (C_i) とした。なお，この実験では Fig. 4-4 に示す A の粒度組成をもつ砂を使用した。

ii) 岩盤による実験

岩盤の海底を想定し，十分に散水して濡れたコンクリート床上を曳行し，底面抵抗を測定した。測定には前述した Table 4-2, Table 4-3 に示す直径の異なった 2 種類の円筒型ボビン，および球型ボビンを 2～6 個連結して使用した。測定は上述した乾燥した砂での実験と同様な方法で行ない，このとき模型が移動方向となす角度 ($90^\circ - \theta$) は 90° および， 0° に設定した。

iii) 水を満たした砂槽による実験

砂地の海底を想定して砂を約 10 cm 敷いた小型砂槽（幅 0.4 m，長さ 2.5 m，深さ 0.3 m）に模型が完全に水没するまで水を満たして模型を曳行し，底面抵抗を測定した。模型は Table 4-3 に示す直径が等しく長さの異なる円筒型ボビン，および直径の等しい球型ボビン

Table 4-4. Specifications of materials used in experiments for testing a compaction of sand.

Shape	Diameter (cm)	Weight (gw)	Specific gravity
Sphere	3.8	28.7	1.0
—	—	42.9	1.5
—	—	71.6	2.5
—	—	96.8	3.4
—	—	142.8	5.0
—	—	187.8	6.5

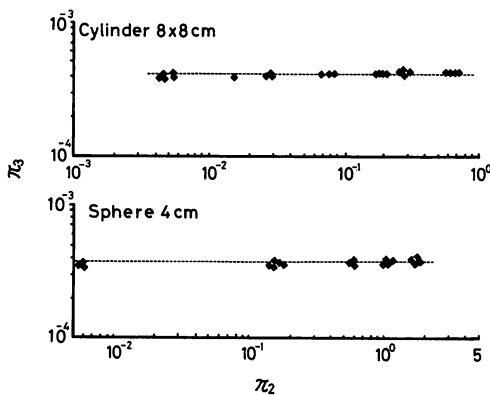


Fig. 4-6. Results of experiments for testing of bobbin (top) and sphere (bottom) in sand tank at various velocities.

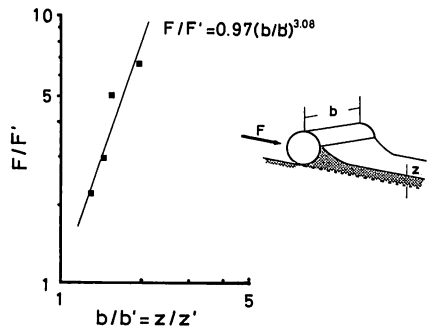


Fig. 4-7. Results of experiments using four types of similar bobbin.
 F : Drag at full scale, F' : Drag at modele, l : Lenght at full scale l' : Length at model

を2～5個シャフトで連結したものを使用した。測定は上述した乾燥した砂での実験と同様な方法で行ない、このとき模型が移動方向となす角度 $(90^\circ - \theta)$ は 90° および、 0° に設定した。

4.2.2 実験結果および考察

江守ら¹⁰³⁾は砂の変形を支配する力として慣性力、重力、内部摩擦力、外力、を考え、それらの組み合わせである3つの無次元量を満足すればよいと述べている。

$$\pi_1 = \mu_s \quad (4-3)$$

$$\pi_2 = \frac{f_i}{F_g} = \frac{\rho_s l^2 v^2}{\rho_s g l^3} \quad (4-4)$$

$$\pi_3 = \frac{F}{F_g} = \frac{F}{\rho_s g l^3} \quad (4-5)$$

μ_s : 内部摩擦係数

f_i : 慣性力

F_g : 重力

F : 外力

ρ_s : 砂の密度

l : 長さ

v : 速度

g : 重力の加速度

原型と模型で同じ砂を用いたとすれば、 π_1 は自動的に等しくなり、 π_2 、 π_3 について検討した。模型には円筒型ポビンと球形ポビンを使用して移動速度を6～70 cm/s の範囲で変化させ、底面抵抗を測定し、 π_2 と π_3 との関係を求め表わしたものが Fig. 4-6 である。Fig. 4-6 から π_2 が変化しても π_3 の値はほぼ一定となる。従って、底面抵抗は移動速度の変化には影響されない。そこで、乾燥した砂、濡れたコンクリートおよび水を満たした砂槽の中での実験では、模型を曳行する移動速度は一定の20 cm/s として行なった。また、円筒型ポビンの実物と縮小模型について底面抵抗を測定した結果を Fig. 4-7 に示す。Fig. 4-7 から π_3 は長さの3乗にほぼ比例している。また、材料の表面粗度の影響が考えられるが、実

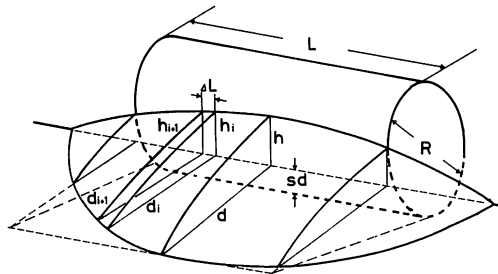


Fig. 4-8. Schematic diagram of measuring points of bank for calculating volume of bank. d : frontal spread, h : height of bank, L : length of bobbin.

物と同じ材料を使用したので、表面粗度は模型と実物で等しくなっている。従って砂地での実験では幾何学艇相似を保てば力学的相似が成立つので、縮小模型を使用しても良いことが分かった。

円筒型ボビンが砂の上を曳行されるときの状態を模式的に示したのが Fig. 4-8 である。移動時にボビンは自重 W_B により砂の中へ深さ sd だけ潜入している。このため砂が掘り起こされてボビンの前面に中央部の高さ h の砂堆を形成する。この砂堆は新しく掘り起こされる砂の量と左右に排除される砂の量とが等しくなって、ボビンの前方に見掛け上一定量の砂を堆積させて進むことになる。Fig. 4-8 が示すようなボビン前方に堆積している砂の体積を次のようにして求めた。砂堆の上縁部高さ h_i と前縁部の拡がり d_i を5点づつ測定して、その包絡線を放物線として回帰曲線を求めた。円筒型ボビンの長さ L を n 等分してボビン前面での盛砂の微小断面部分の面積をまず求め、この面積を長さ L について積算して砂堆の体積 V_{SM} を算出した。しかし、この方法では砂堆各部を測定する複雑さがある。そこで近似的に砂堆の体積を求めることを考えた。平板の場合、この砂堆の体積は砂堆の中央部高さ h の約0.8倍の高さをもつ自由落下によって形成された砂堆（自由砂堆）にほぼ等しくなることが明らかにされている¹⁰⁴。そこで、簡便的に砂堆の体積を求めるために円筒形ボビンについてもこの考え方を適用し、砂堆の中央部高さ h を測定し、自由砂堆の体積 V_{SA} を計算した。また、このようにして求めたそれぞれの体積に実験に使用した砂の見掛け上の密度 (1.5 g/cm^3) を乗じて砂堆の重量とした。実測値から計算して求めた砂堆の重量 W_{SC} と近似的に求めた自由砂堆の重量 W_{SA} との関係を円筒型ボビンについて比重別に示したのが Fig. 4-9 である。近似的に求めた砂堆の重量は実測値にほぼ等しいものと見なすことができ、移動時に形成された砂堆の重量として W_{SA} を解析に供した。

砂地を曳行するボビンが受ける底面抵抗 F_D はボビンが等速度で曳行されているので次式のように考えた。

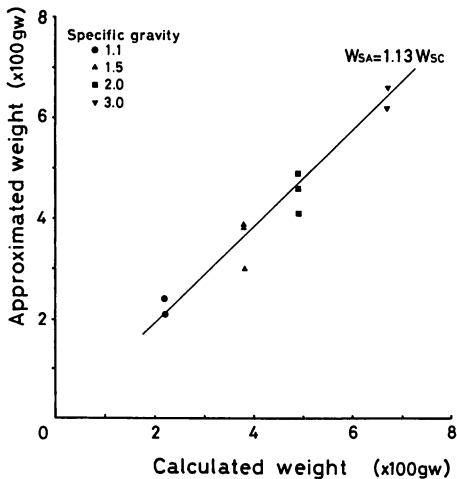


Fig. 4-9. Relationship between calculated and measured weight of sand bank using a cylinder type of bobbin.

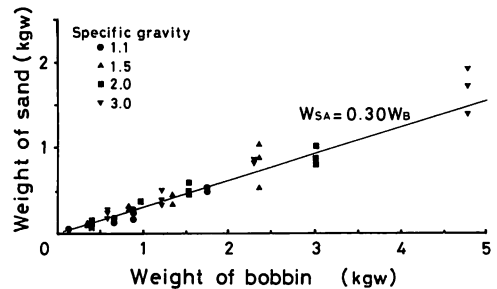


Fig. 4-10. Relationship between weight of cylinder type bobbin and weight of sand.
 W_{SA} : Weight of sand bank, W_B : Weight of bobbin

$$F_D = \mu_1 W_B + \mu_2 W_{SA} \tag{4-6}$$

μ_1 : ボビンと砂の動摩擦係数

μ_2 : 砂抗力係数

W_B : ボビンの重量

W_{SA} : 砂堆の重量

円筒型ボビンの比重別によるその重量と砂堆の重量との関係をとらえてみたのが Fig. 4-10 である。砂堆の重量は円筒型ボビン重量に比例しており、比重によってほとんど変化なく、実験した比重1.1~3.0の範囲では砂堆の重量 W_{SA} は、円筒型ボビンの自重 W_B の関数として次式のように表わすことができる。

$$W_{SA} = 0.3 W_B \tag{4-7}$$

そこで、円筒型ボビンを移動方向に対して直角に置いた場合 ($\theta=0^\circ$) の底面抵抗はボビン重量の関数として次式のように表わされる。

$$\begin{aligned} F_D &= (\mu_1 + 0.3 \mu_2) W_B \\ &= \mu_0 W_B \end{aligned} \tag{4-8}$$

μ_0 : 円筒型ボビンを移動方向に対して直角に置いた場合の底面抵抗係数

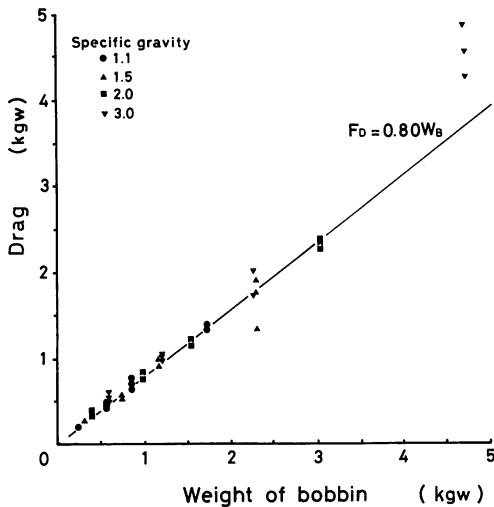


Fig. 4-11. Relationship between weight of cylinder type bobbin and drag. F_D : Drag, W_B : Weight of bobbin

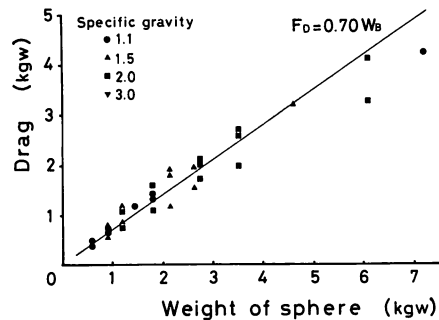


Fig. 4-12. Relationship between sphere weight and drag. W_B : Weight of sphere, F_D : Drag

実験に使用した4種類の円筒型ボビンについてその重量と底面抵抗との関係を示したのが Fig. 4-11 である。この結果から、底面抵抗 F_D は円筒型ボビンの重量 W_B に比例し、その底面抵抗係数 μ_0 の値は約0.8となる。また、球型ボビンについても底面抵抗を測定し、球

型ボビンの重量と底面抵抗の関係を示したのが Fig. 4-12 である。この結果から、球型ボビンの底面抵抗係数 μ_0 の値として約0.7が得られた。

また、円筒型ボビンを移動方向に対して任意の角度 ($90^\circ - \theta$) 傾けて置いた場合の底面抵抗は (4-6) 式でのボビンの動摩擦力 $\mu_1 W_B$ は一定であり、砂抗力 $\mu_2 W_{SA}$ が変化する。ここで、砂抗力係数 μ_2 は一定であり、 W_{SA} が変化することになる。しかし、ボビン重量に対する抵抗係数が変化するとした方が考えやすいので、ここでは任意の角度 ($90^\circ - \theta$) 傾けて置いた場合の底面抵抗は次式のように表わされるものとした。

$$F_{D\theta} = \mu_\theta W_B \tag{4-9}$$

μ_θ : ボビンを移動方向に対して ($90^\circ - \theta$) 傾けて置いた場合の底面抵抗係数

($90^\circ - \theta$) で傾けて曳行される場合の円筒型ボビンの端に作用する力の影響を除去する必要がある。そこで以下の方法によって端の影響を除去した。直径が等しい円筒型ボビンを連結して測定したので、同じ迎角で曳行した長さの異なる2個の円筒型ボビンの底面抵抗の測定値から、最小単位の円筒型ボビンに作用する力とその端に作用する力をそれぞれを未知数とした連立方程式から端に作用する力を求め、この力を除去した。

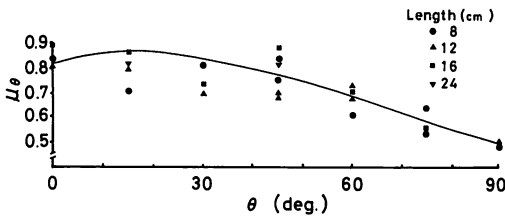


Fig. 4-13. Relationship between attack angle and drag of cylinder type bobbin.

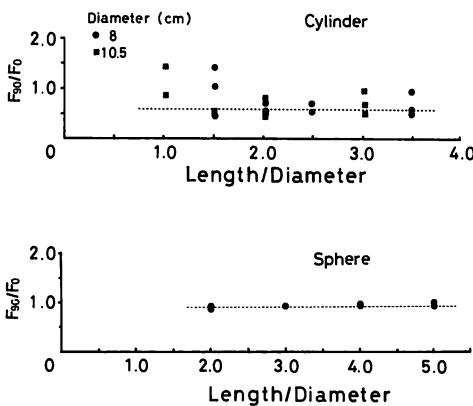


Fig. 4-15. Relationship between ratio of length and diameter of cylinder and that of F_{90} and F_0 at sand tank. F_{90} : Drag at $\theta=90^\circ$, F_0 : Drag at $\theta=0^\circ$

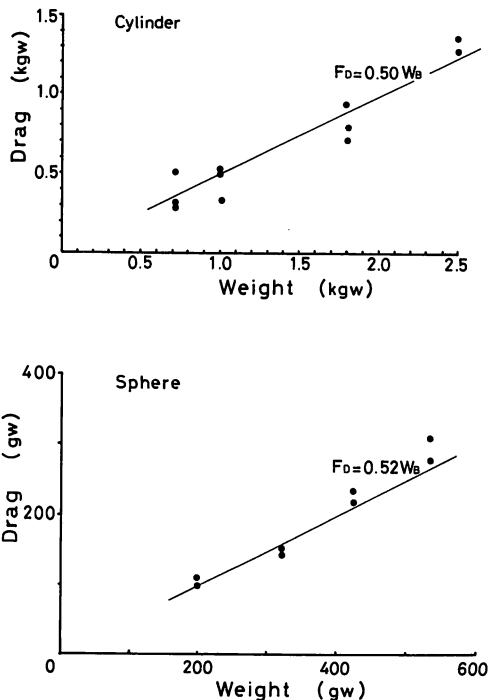


Fig. 4-14. Relationship between weight and drag at $\theta=0^\circ$ in sand tank using dry sand; cylinder (above) and sphere (below).

円筒型ボビンを $(90^\circ - \theta)$ 傾けて設定した時の底面抵抗係数 μ_{θ} と θ との関係を整理して表わしたものが Fig. 4-13 である。図から、 $\theta=0^\circ$ のときの実験値として約0.80、 $\theta=90^\circ$ のときの実験値として約0.50が得られた。ボビン自身と砂との動摩擦力は迎角には無関係だから、 $\theta=90^\circ$ のときの底面抵抗はボビン自身と砂との動摩擦力と考えられ、動摩擦係数 μ_1 として約0.5 が得られる。

円筒型ボビン、および球型ボビンを連結し $\theta=90^\circ$ にして曳行した場合について、模型の重量と底面抵抗との関係を整理したものが Fig. 4-14 である。なお、ボビンの前面に形成される砂堆の重量は連結された長さには無関係にそれぞれ一定となる。従って、連結した長さとの関係を使って回帰直線式から前面に作用する力を求め、除去した。円筒型ボビン、および球型ボビンの動摩擦係数として約0.5が得られた。このようにして求めた動摩擦係数は前述の実験から求めた抵抗係数に一致した。直径が等しく長さの異なる円筒型ボビン、および球型ボビンを連結して $\theta=0^\circ$ または、 90° として曳行した場合の底面抵抗の比を求め示したものが Fig. 4-15 である。これより模型の長さによって底面抵抗の比はほとんど変化していない。

砂は高粘性流体と同じ性質を持つと報告されている¹⁰⁵⁾。移動方向に対して任意の角度 $(90^\circ - \theta)$ 傾けて曳行されるとき底面抵抗は流体抵抗と同様に考えることができる。そこで、乾燥した砂において $(90^\circ - \theta)$ 傾けて曳行する時の円筒型ボビンの底面抵抗係数は次のようになるものと考えた。

$$\mu_{\theta_i} = \mu_0 (A' \sin^m \theta_i + \cos^m \theta_i) \quad (4-10)$$

$$A' = \frac{\mu_{90}}{\mu_0}$$

$\theta=0^\circ$ のときの実験値0.8、 $\theta=90^\circ$ のときの実験値0.50であるから、これらの値から A' として0.63が得られる。この値を (4-10) 式に代入して Fig. 4-13 の値に適合するように指数 m を求めた結果を Table 4-5 に示す。ここで指数 m の値は変化が小さいので平均して $m=1.5$ を得た。そこで、(4-10) 式は次のようになる。

$$\mu_{\theta_i} = 0.80 (0.63 \sin^{1.5} \theta_i + \cos^{1.5} \theta_i) \quad (4-11)$$

直径が 3.8 cm の球型ボビン使って底面抵抗係数に対する底質の粒子の大きさ (0.08～1.50 mm) の影響について検討した結果が Fig. 4-16 である。この図より使用した砂の中央

Table 4-5. Values of coefficient and exponent in the regressive formula for various sizes of cylinder bobbins $\mu_{\theta}=0.8 (A' \sin^m \theta + \cos^m \theta)$.

Diameter D (cm)	Length L (cm)	L/D	Coefficient A'	Exponent m
8	8	1.0	0.63	1.41
—	12	1.5	—	1.60
—	16	2.0	—	1.48
—	24	3.0	—	1.52
				1.5 (mean value)

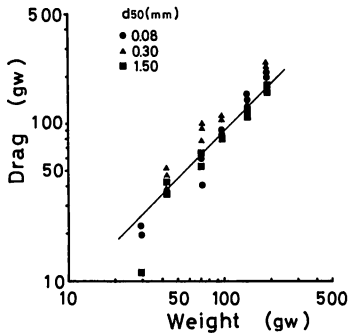


Fig. 4-16. Relationship between weight and drag at various grain size of sand.

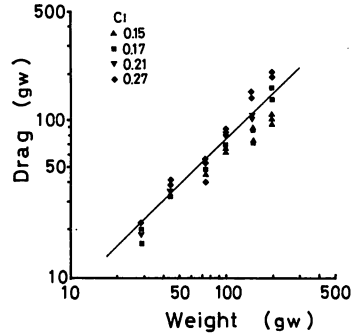


Fig. 4-17. Relationship between weight and drag at various compaction index of sand in tank.

粒径の範囲では抵抗係数には変化がないといえる。また、中央粒径 0.08 mm の砂を用い、底面抵抗係数に砂地の硬さの影響について調べた結果を Fig. 4-17 に示す。この係数は測定した砂地の硬さの範囲内ではほとんど変わらないことが分かった。

ii) 岩盤の場合

岩盤の海底を想定して円筒型ボビンを十分濡らしたコンクリート床の上で曳行した、円筒型ボビンの重量と抗力との関係を求めた結果を Fig. 4-18 に示す。それぞれ両者の関係は一次式となり、動摩擦係数として円筒型ボビンでは約0.66、球型ボビンでは約0.75が得られた。円筒型ボビン、および球型ボビンを連結して θ を 0° と 90° に傾けて曳行した時の底面抵抗の

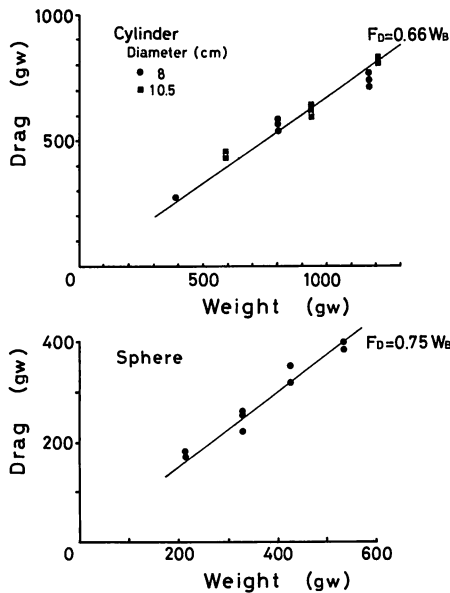


Fig. 4-18. Relationship between weight and drag on wet concrete; cylinder (above) and sphere (below).

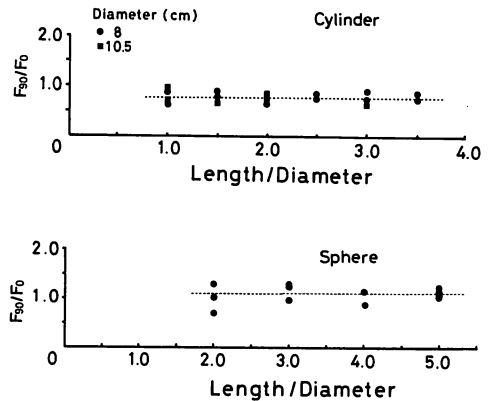


Fig. 4-19. Relationship between ratio of length and diameter of cylinder and that of F_{90} and F_0 on wet concrete. F_{90} : Drag at $\theta=90^\circ$, F_0 : Drag at $\theta=0^\circ$

比 (F_{90}/F_0) を求め、長さや直径との比との関係を表わしたのが Fig. 4-19 である。同図より円筒型ボビンでも球型ボビンでも連結する長さが異なっても、抗力の比はほぼ1.0が得られ、方向性はない。

iii) 水を満たした砂槽の場合

砂地の海底を想定して円筒型ボビン、および球型ボビンを連結して水を満たした砂槽で $\theta=0^\circ$ 、 90° にして曳行し、円筒型ボビンの重量と底面抵抗との関係について整理した結果を Fig. 4-20、Fig. 4-21 に掲げる。両者の関係は一次式となり、底面抵抗係数は $\theta=0^\circ$ の場合、円筒型ボビンでは0.68、球型ボビンでは0.69となる。また、 $\theta=90^\circ$ の場合のこの係数は、円筒型ボビンでは0.50、球型ボビンでは0.49が得られる。

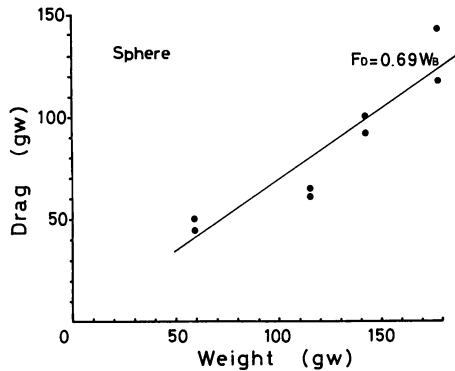
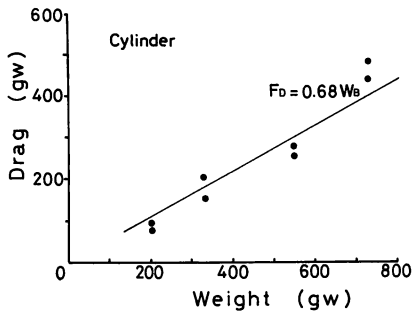


Fig. 4-20 Relationship between weight and drag at $\theta=90^\circ$ at sand tank with water; cylinder (above) and sphere (below).

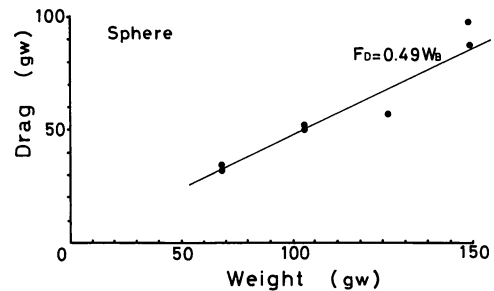
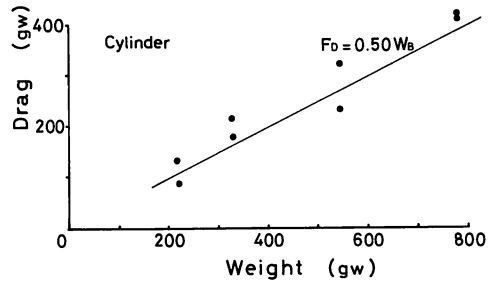


Fig. 4-21. Relationship between weight and drag at $\theta=0^\circ$ at sand tank with water; cylinder (above) and sphere (below).

円筒型ボビンおよび球型ボビンを連結して $\theta=0^\circ$ 、および $\theta=90^\circ$ にして曳行した時の底面抵抗の比 (F_{90}/F_0) を求め、連結した長さや直径との比との関係を表わしたのが Fig. 4-22 である。これより円筒型ボビンの長さが異なっても、底面抵抗の比はおよそ0.72、球型ボビンの場合には、1.0となる。

円筒型ボビンを $(90^\circ - \theta)$ を傾けて曳行される場合の底面抵抗係数 μ_θ は、砂地の海底において、水中における砂の動態と空中における砂の動態とは等しくなると考えられ (4-10) 式と同様に表わされると考えた。円筒型ボビンの実験結果から A' として0.72が得られ底面

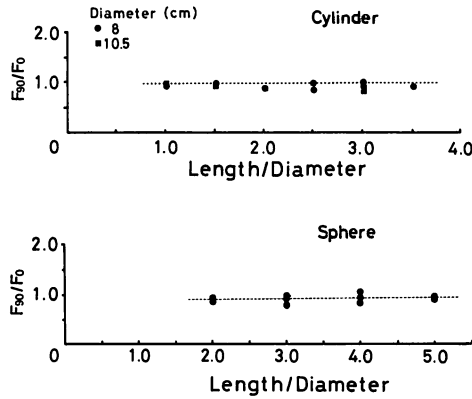


Fig. 4-22. Relationship between ratio of length and diameter of sphere and that F_{90} and F_0 . F_{90} : Drag at $\theta=90^\circ$, F_0 : Drag at $\theta=0^\circ$

Table 4-6. Values of drag coefficient μ_θ for various bottom conditions for unit bobbin.

Shape	Drag coefficient	Bottom		
		Dry sand	Rock	Sand in water
Cylinder	μ_0	0.80	0.66	0.68
—	μ_{90}	0.50	0.66	0.50
—	μ_θ	*1	0.66	*2
Sphere	μ_0	0.70	0.75	0.69
	μ_{90}	0.70	0.75	0.69
	μ_{90}^{*3}	0.52	0.75	0.49

*1: $0.80 (0.63 \sin^{1.5} \theta + \cos^{1.5} \theta)$, *2: $0.68 (0.72 \sin^{1.5} \theta + \cos^{1.5} \theta)$, *3: combined bobbin

抵抗係数 μ_θ は次式になる。

$$\mu_\theta = 0.68 (0.72 \sin^{1.5} \theta + \cos^{1.5} \theta) \tag{4-12}$$

以上の実験結果をまとめて底質ごとの底面抵抗係数を整理して Table 4-6 に示す。ここでの実験から流体抵抗係数、底面抵抗係数（動摩擦係数、砂抗力係数）を求めることができた。

球型ボビンは Fig. 2-2 に示したグランドロープの構成に見られるように、球型ボビンだけを連結した形で使用することは非常にまれであり、独立して使用されることが多い。砂地の海底を曳行する球型ボビンについて考えるとき、球型ボビンが独立している場合（グランドロープのボトム部分など）には底面抵抗係数として0.70を使用し、球型ボビンが連続したり、あるいは前方のボビンの影響を受ける場合（グランドロープの袖網先端部分など）には底面抵抗係数として0.49を使用すればよい。底質が砂の場合の底面抵抗係数は使用するボビンの素材によってほとんど変化はしない。しかし、岩盤の場合の底面抵抗係数は動摩擦係数に依存しているので、使用される素材によって変わっていることが予想される。従って、予め使用する素材の岩盤との動摩擦係数を求めれば底面抵抗係数が定まり形状は計算できることになる。

次章では重量構成の異なる場所で曳行してその時の形状と抗力を測定し、ここで決定した

各係数を用いて理論的に形状を求めて比較することにした。

第5章 構成の異なる模型グランドロープの形状と抵抗の実験的検討

5.1 材料および方法

これまでグランドロープの単位部分に作用する力について解析してきた。ここではボビンを連結して構成したグランドロープを底質の異なった場所で曳行した時の形状と抵抗について調べた。漁場の底質が岩盤の場合には濡れたコンクリート面で実験を行ない、漁場の底質が砂の場合には砂地の海底で実験を行なった。なお泥の場合は漁場の底質が細かい場合であり、砂の実験で代表した。

Table 5-1. Specifications of model ground rope used in experiment at concrete floor.

	Type		
	RA (FA)	RB (FB)	RC (FC)
Diameter of bobbin (cm)	6	6	6
Length of bobbin (cm)	9	9	9
Number of bobbin	20	20	20
Total length (cm)	180	180	180
Weight (gw)	4720 (452)	7680 (3133)	7680 (3133)

(): in water

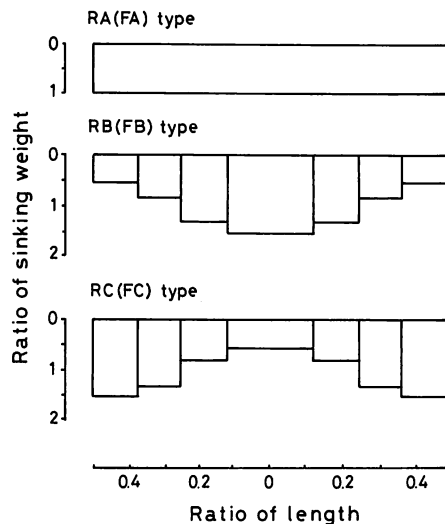


Fig. 5-1. Schematic diagram of model ground rope used in experiment at concrete floor and sandy bottom (non-dimensional).

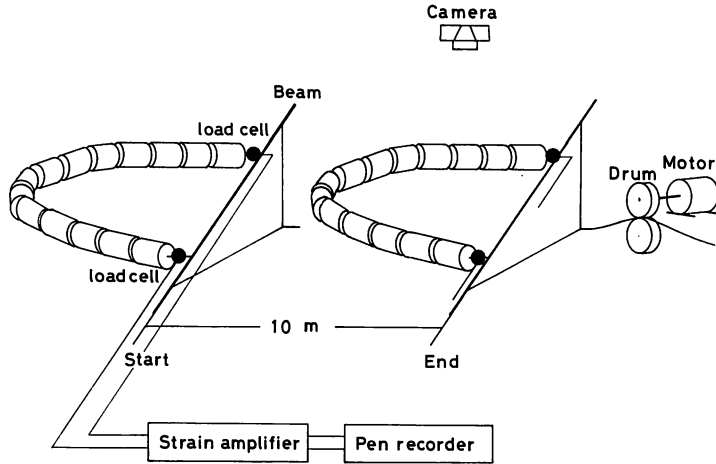


Fig. 5-2. Schematic diagram of experimental apparatus used for testing model ground rope at concrete floor.

i) 岩盤による実験

実験に使用したグランドロープ模型は大きさが同じゴム製の円筒型ボビン（直径 6 cm, 長さ 9 cm）で構成し、鉄芯を中心部に入れて比重を 1.1~1.9 に調整した。この円筒型ボビンをワイヤー（直径 0.6 mm）で 20 個連結してグランドロープの全長 GL を 1.8 m とした。実験は Fig. 5-1 に示すような重量構成の異なる 3 種類のグランドロープを使用した。それぞれのグランドロープはトロール網のグランドロープの重量構成を原型として一般化した部位によって重量変化のないもの (RA)、二そうびき網のグランドロープを原型として一般化した中央部分を加重したもの (RB)、および実用のグランドロープにはない重量構成であるが、両端部を加重したもの (RC) である。グランドロープに使用した材料の仕様および諸元を Table 5-1 に示す。このグランドロープを十分に散水したコンクリート面上で曳行し、その時の索張力と形状を測定した。使用した実験装置の概略を Fig. 5-2 に示す。測定は両端間隔をビーム（鉄パイプ、直径 1.8 cm, 長さ 1.8 m）を使用して、グランドロープ全長の約 30~50% の範囲で 3 通りに変化させて、可変速モーターで駆動されたドラムで曳き網を捲き取り、コンクリート面上を約 20 cm/s の速度で約 10 m 曳行した。グランドロープの形状はグランドロープ左端を原点とする二次元の直交座標を設定して、グランドロープ各部分の座標を読み取った。なお、それぞれのボビンの中心をグランドロープの位置とした。このとき写真撮影した結果の一例を Fig. 5-3 の上図に示す。グランドロープの形状および抵抗は第 3 章で提示した解析方法に基づいて求めた。本実験の場合、底質は岩盤に相当するコンクリートであり、底面抵抗は動摩擦力だけが作用し、底面抵抗係数は Table 4-6 より 0.66 が得られる。グランドロープの単位部分に作用する抗力は次式によって計算した。

$$F_i = 0.66 W_B \quad (5-1)$$

なお、グランドロープの形状の計算は分割数を 25 として計算した。こうして得た結果を実測値と比較検討した。

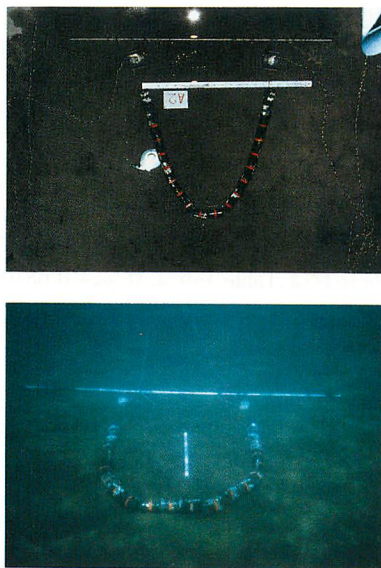


Fig. 5-3. Photograph of ground rope under towing condition at concrete floor (above) and at sandy bottom (below).

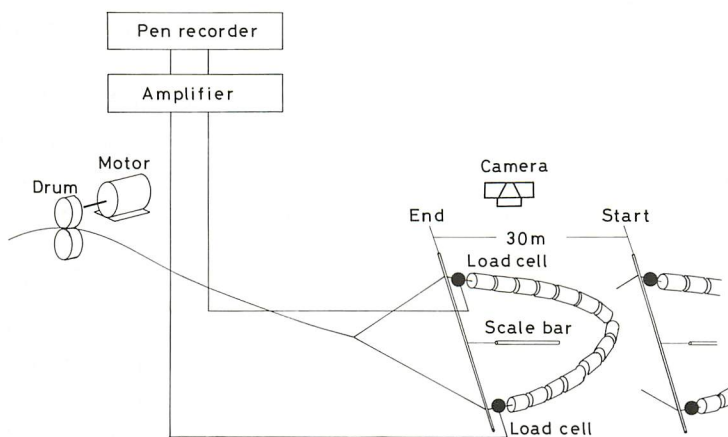


Fig. 5-4. Schematic diagram of experimental apparatus used for testing model ground rope at sandy bottom.

ii) 砂地海底での実験

実験は鹿児島県開聞町地先の海岸で汀線から約 20~50 m 沖合いのほぼ平坦な海底（水深 1.5~2.0 m）を選び、Fig. 5-4 に示すような方法で行なった。実験に使用した模型のグランドロープは岩盤での実験に使用したものと同一である。ビームには手網と引き網を縛着してモーターで駆動されたドラムによって曳き網を巻き取り、約 20 cm/s の曳行速度で約 30 m 曳行した。この時に作用する索張力はロードセルを使用して測定し記録した。また、模型のグランドロープの形状は追従して遊泳しながら、上方から 35 mm 水中カメラによって模型

のグランドロープと共に曳行した白色スケール (直径 2 cm, 長さ 40 cm) を一緒に撮影した。撮影した写真の一例を Fig. 5-3 の下図に示す。この画像を使用してグランドロープ各部分の座標を読み取った。

グランドロープの形状および抵抗は前述した岩盤での実験と同じ方法で求めた。本実験においてグランドロープの単位部分に作用する抗力は流体抵抗と底面抵抗との和である。また、第4章でグランドロープの単位部分に作用する流体抵抗係数は流れに対する傾きによらず一定とみなすことができたので、流体抵抗 D (gw/個) は単位部分に対して均等に $D=5.0$ が作用するものとした。底面抵抗係数は Table 4-6 より $\mu_\theta=0.68 (0.72 \sin^{1.5}\theta + \cos^{1.5}\theta)$ が得られる。砂地の海底を曳行するグランドロープの単位部分に作用する抗力は次式で計算した。

$$F_i = 0.68 (0.72 \sin^{1.5}\theta + \cos^{1.5}\theta) W_B + D \quad (5-2)$$

これらを使ってグランドロープの形状と抵抗を求め、実験したそれぞれの結果と比較検討した。

5.2 実験結果

岩盤上を曳行した場合のグランドロープの形状の測定結果と計算結果をグランドロープの重量構成ごとにグランドロープの両端間隔別にまとめて Fig. 5-5-a~Fig. 5-5-c に示す。均一な重量構成の RA 型と両端部を加重した RC 型は湾曲した形状を示すのに対して、中央部分を加重した RB 型は直線的な形状を示した。計算で求めた形状はいずれの実験条件でも実測値にほぼ一致している。

砂地の海底で曳行した場合のグランドロープの形状の測定結果と計算結果をグランドロープの重量構成ごとにグランドロープの両端間隔別に整理して Fig. 5-6-a~Fig. 5-6-c に示す。砂地の海底の実験では、両端間隔が広い場合には計算で求めた形状は実験値とよく一致するが、両端間隔が狭い場合には計算値と実験値がよく合わないものも生じてきた。曳行されるグランドロープの中央部分には多量の砂が堆積し、その一部はグランドロープを乗り越えているのが観察された。これは円筒型ゴムボビンが連結されて曳行されるため、円筒型ゴムボビン単独で曳行された場合とは異なり、掘り出された砂は左右に排除されず、円筒型ボビンを乗り越えるまで前面に堆積していく。こうしてグランドロープの前面に堆積した砂によってグランドロープは側面方向へ展開されるため岩盤上での実験と比較するとグランドロープの形状はふくらみをもっている。均一な重量構成の FA 型はほぼカタナリーと同じような曲線形状を示すが、中央部分を加重した FB 型は FA 型よりもふくらみが小さく直線的な形状である。これに対して両端部を加重した FC 型は両側部分は移動方向にほぼ平行で、中央部分が移動方向に対してほぼ直角になり、全体として「コ」字形を示す。しかし、両端間隔が狭くなるビームで設定した両端間隔よりもふくらんだ形状を示した。また、FC 型は曳行中の形状は不安定であり、他二者よりもグランドロープの接地性は不十分であった。

実験した底質ごと、グランドロープの重量構成別に計算で求めた抵抗と実測値との関係を整理して Fig. 5-7 に示す。いずれのグランドロープ模型でも計算値と実測値はほぼ一致している。

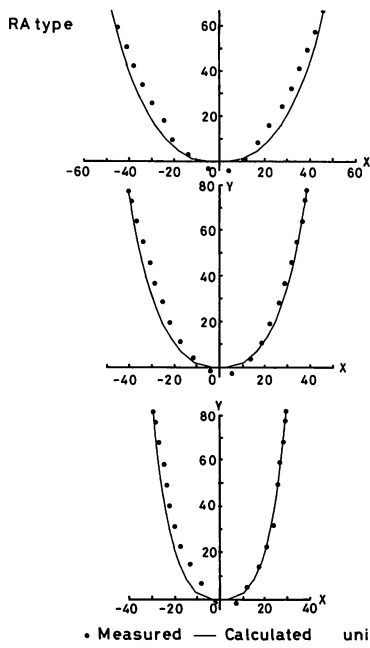


Fig. 5-5-a. Schematic diagrams of approximated and experimental ground rope shapes (RA type).

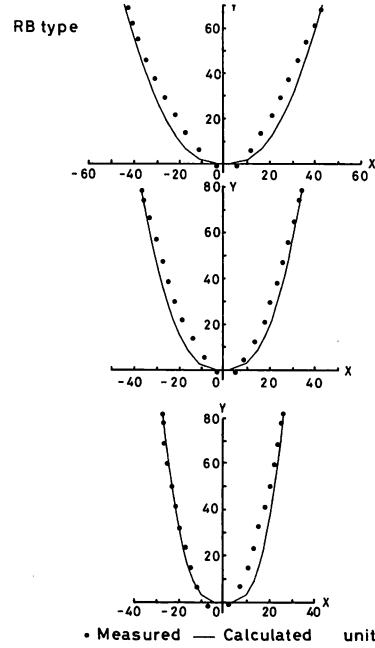


Fig. 5-5-b. Schematic diagrams of approximated and experimental ground rope shapes (RB type).

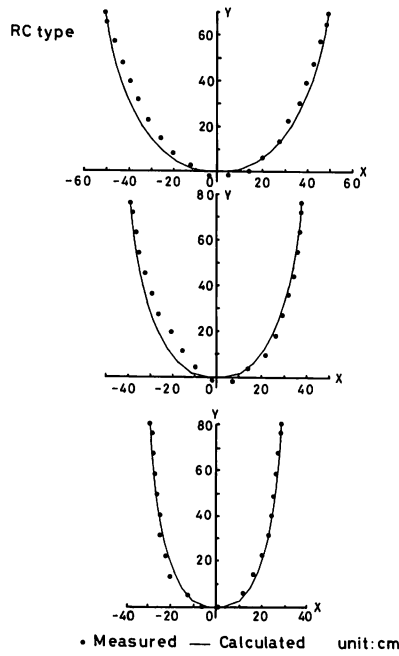


Fig. 5-5-c. Schematic diagrams of approximated and experimental ground rope shapes (RC type).

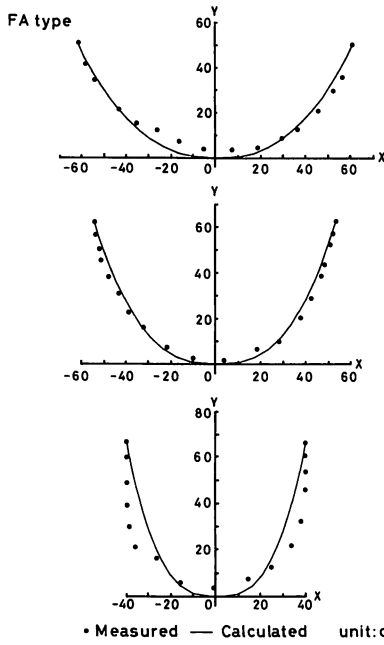


Fig. 5-6-a. Schematic diagrams of approximated and experimental ground rope shapes (FA type).

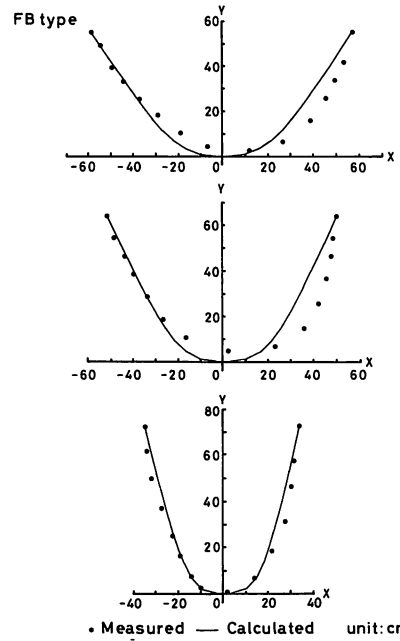


Fig. 5-6-b. Schematic diagrams of approximated and experimental ground rope shapes (FB type).

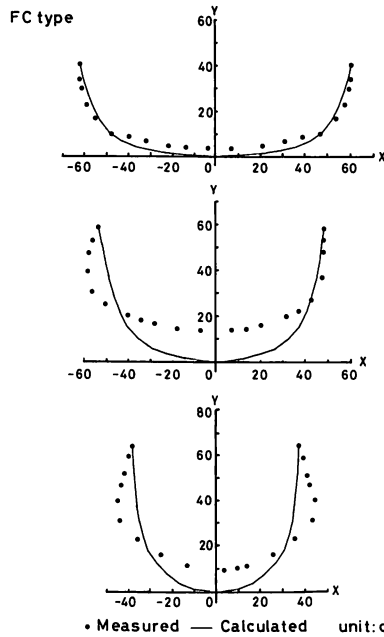


Fig. 5-6-c. Schematic diagrams of approximated and experimental ground rope shapes (FC type).

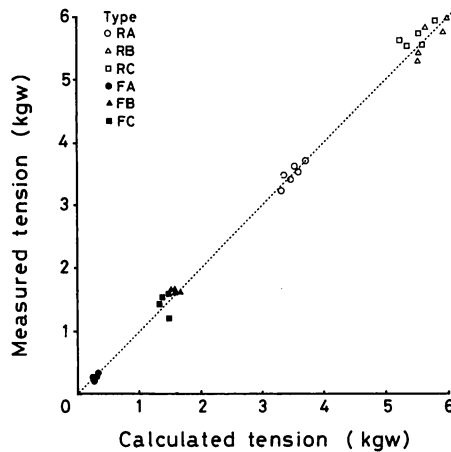


Fig. 5-7. Relationship between calculated and measured tension.

5.3 考察

岩盤で模型のグランドロープを曳行した場合、単位部分に作用する底面抵抗は動摩擦力だけである。このときのグランドロープの形状は計算値にほぼ一致した。砂地の海底では底面抵抗として動摩擦力と砂抗力および流体抵抗が作用するが、両端間隔が広い場合にはグランドロープの重量構成によらず形状は良く一致した。しかし、両端間隔が比較的狭くなると実測値と計算値は一致せず、重量分布を一様にしたFA型のグランドロープ、および両端部に大きな重量を配置したFC型のグランドロープでは脇がふくらむ傾向を示した。このように形状が一致しないのは次のような原因によるものと考えられる。砂地の海底を曳行されるグランドロープを観察した結果、グランドロープによって掘り出された砂は排除される場所がないため、その前方にポビンを乗り越えるまで砂が堆積され、従ってグランドロープの単位部分に作用する力は、円筒型ポビンを単独で曳行した場合よりも大きくなっている。

また、実験ではグランドロープの両端間隔をビームに固定しており、グランドロープ両端の横方向への展開は制限される。FC型では両端部分を加重した構造のために、この部分では円筒型ゴムポビンの砂への潜入量が大きくなり、その結果堆積した砂が横方向へ崩れ、グランドロープを横方向へ押し広げる力が作用している。さらに中央部分では軽量であるので、この部分では砂抗力が作用せず小さな動摩擦力だけしか作用しない。脇の部分は両側から引っ張られるために移動方向に対してほぼ直角になったものと考えられる。また、円筒型ポビンを連結して製作したグランドロープは両端間隔が狭くなると曲げられることで柔軟性を失う。このようなことから実験時の形状は計算で求めた形状よりふくらんだものと考えられる。

実験に使用した円筒型ゴムポビンの長さは全長に対して1/20であった。現用のグランドロープで使用されている円筒型ゴムポビンの長さは15~25 cm程度であり、全長を50 mとして試算すると1/200~1/300となる。このようにグランドロープの最小単位が模型グランドロープでは相対的に長いいため両端間隔が狭くなれば、グランドロープの円筒型ポビンの端が

影響しあって曲がりづらくなって柔軟性が失われて見掛上ロープの剛さが生じる。しかし、本研究では剛さは十分小さいものと考え解析した。両端間隔が全長の約30%以上であれば、グランドロープを構成しているボビンの長さの影響は認められないが、この両端間隔より狭くなると本実験に使用したような構成であるグランドロープでは柔軟性を喪失し、剛さが生じ曲率の変化に追従できず異なった形状を作ることになる。本実験結果から円筒型ボビン1個の長さとの比が25分1程度であれば、グランドロープの柔軟性は保障される。そこで、全長に対する両端間隔の比率として約30%が本研究の方法を適用する場合の下限と考えられる。通常の底びき網では操業時における両端間隔はグランドロープ全長の約38~45%であり¹⁰⁷⁾、本研究の方法が十分適用できる。

第6章 グランドロープの形状と漁具性能

6.1 魚の駆集モデル

底びき網のグランドロープは漁具の接地性を保つ機能のほかに魚を網口へ駆集する機能を持っていると考えられる。水槽で移動する網やロープに対する魚の反応行動について観察を行なった Blaxter³⁹⁾、曳網中の一そうびき網を水中で観察した Hemmings³⁰⁾ や曳網中のトロール網を水中で観察した Main³³⁾、Wardel⁴²⁾ などの研究によれば、魚種によって漁具に対して反応を起こす距離は0~3mと差があるがカレイのような底棲魚は一旦グランドロープに接近もしくは接触すると網の前方へ遊泳し、再び網に追い付かれると同じ行動をすることが明らかにされている。これを魚の網に対する相対運動としてとらえれば、袖網先端部からグランドロープに沿ってジグザグ運動しながら網口へ到達して入網することになる。そこで、グランドロープによって駆集され入網する確率モデル（以下駆集モデルとする）を考えた。この駆集モデルの設定にあたり以下のような仮定を設けた。この時、視覚的な漁具接近認知および近傍個体の遊泳行動への反応は考慮していない。

1. 魚は海底上に均等に分布し、魚はグランドロープに接触するまで移動しない。
2. 魚はグランドロープに接触する度に法線方向内側に一定距離だけ遊泳した後にその場所ですべての魚は再び進行してきたグランドロープに接触するとこのような行動を繰り返し行なう。
3. 魚はグランドロープに接触する度に確率 P ($0 < P < 1$) で駆集されず、グランドロープの外に出る。
4. ボソム（グランドロープの腹網に接続している部分）前方に分布している魚とボソムまで移動してきた魚は全て袋網に入網する。

実際には、魚は海底上にランダムに分布をしている。しかし、底びき網がある袖先間隔で一定の距離を曳網するので、両袖先の間を通過する魚の尾数は底びき網の掃海面積全体で考えればよく、魚は両袖先を結ぶ線上に均等に分布しているとみなすことができる。そこで、曳網時には魚は次から次へと連続的に入網してくることになるのでここでは単純化して考え、魚は近似的に両袖先を結ぶ線上に単位長さ当たり (1 m) に一尾づつ均等に存在し、合計 n 尾が分布するものと想定した。

魚の遊泳速度は通常遊泳時の巡航速度と摂餌や逃避時の突進速度に分類することができる。

Beamish¹⁰⁵⁾ はいろいろな魚種の遊泳速度を測定した結果を整理して巡航速度では体長の約2～3倍，突進速度で体長の約10倍であり，後者ではその持続時間は約2～7秒となることが明らかにされている。そこで，このモデルは対象魚種として海底上に生息して底びき網の漁獲対象魚であるカレイをとりあげた。カレイの体長は30cm，グランドロープに接触するとき体長の10倍の速度で2秒間遊泳し，6mだけ移動するものとした。

このようなグランドロープに接触して遊泳する魚の動きを上述のような仮定に基づいて模式的に示したものが Fig. 6-1 である。ここで両袖先の間の任意の位置にいる魚 Q_i は移動してきたグランドロープに接触する度に $(1-P)$ の割合で法線方向内側に一定距離 BD だけ遊泳を繰り返し，ボソムに前方に駆集されて入網する。

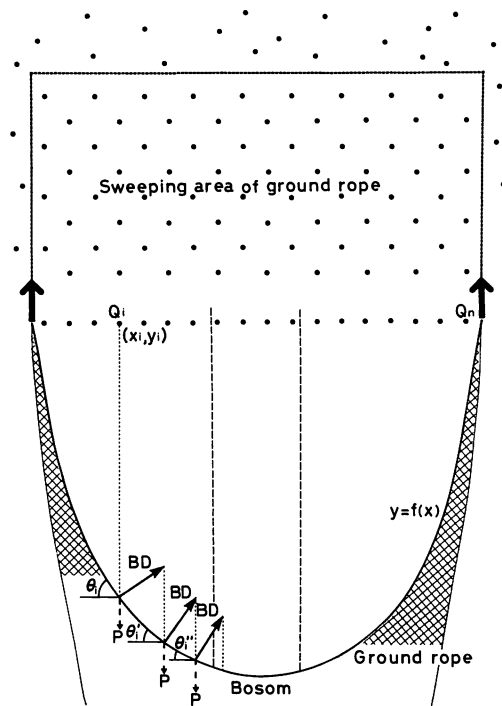


Fig. 6-1. Schematic diagram of fish herding model of ground rope considering reaction of fish to fishing gear.

グランドロープに接触する度に確率 P で駆集されない割合が生じることにより，注目した i 番目の魚がグランドロープと m_i 回接触するとすれば，この魚が最終的に入網する確率 CF_i は (6-1) 式のようなになる。

$$CF_i = (1-P)^{m_i} \tag{6-1}$$

ある袖先間隔に n 尾いることから全体の入網尾数 CFD は (6-1) 式を n 尾について積算したものであり下式で表わされる。

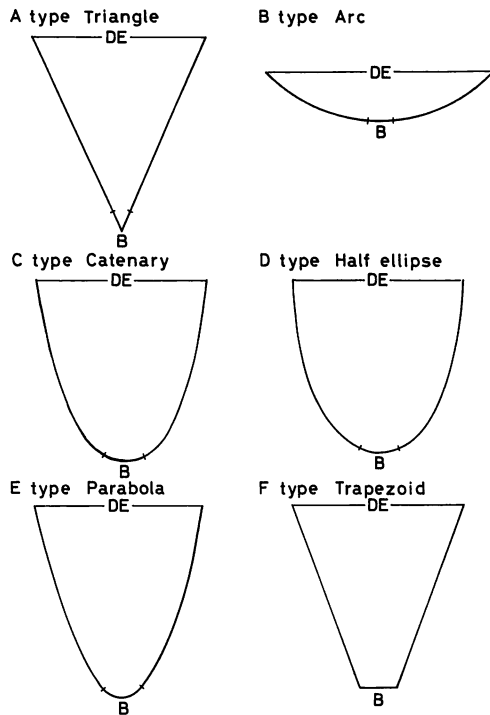


Fig. 6-2. Proposed shape of ground rope used for calculation of fish herding model.

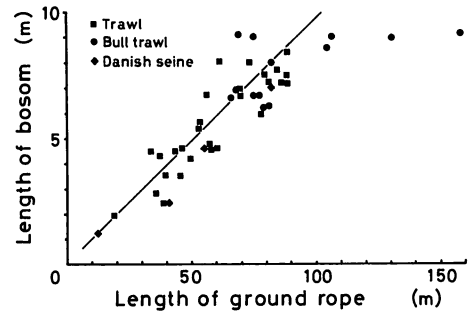


Fig. 6-3. Relation between length of ground rope (GL) and that of bosom (B).

$$\begin{aligned}
 CFD &= \sum_{i=1}^n CF_i \\
 &= \sum_{i=1}^n (1-P)^{mi}
 \end{aligned}
 \tag{6-2}$$

6.2 グランドロープの形状別の漁具性能

曳網時におけるグランドロープの形状はその構造や重量配分によって変化することが第5章で明らかになった。ここではグランドロープの形状模型として、グランドロープ形状の実測結果^{3,4,89)}を考慮して Fig. 6-2 に掲げた二等辺三角形、円弧、半楕円、カタナリー、放物線、等脚台形の6種類をとりあげた。

グランドロープの全長 GL は全て同じとし、中規模の底びき網を想定して 50 m とした。これらのグランドロープを使って実際に駆集モデルを使って入網尾数を算出するにはグランドロープの長さとおボムの長さ B との比率が必要である。ここでは代表的な三種の底びき網（トロール網、二そうびき網、一そうびき網）について両者の関係を調べた結果を Fig. 6-3 に示す。大型の二そうびき網を除いてはボソムの長さはグランドロープ長さのおおよそ 10% であることから、ボソムの長さをここでは 5 m とした。また、遊泳距離は 6 m とした。グランドロープの形状別に両端間隔 DE は全長の 90% から 20% まで 10% ずつ変化させたが、円弧については半円となる両端間隔までとした。

それぞれの両端間隔について前述のような駆集モデルを使って得られる袋網に入る入網尾数を図形算で求めた。その代表例としてカテリーと三角形について、両端間隔がグランドロープ全長の40%の場合の例を Fig. 6-4 に示す。Fig. 6-4 に示すように全長 GL のグランドロープを両端間隔 DE にした時の形状を描き、ボソム両端から鉛直上方に直線を引く。次にグランドロープ上の任意の点から長さ BD (一回の遊泳距離 6 m) の法線を引き、この法線がボソム端から引いた直線と交わるグランドロープ上の点を求め、ここからボソム端から鉛直上方に引いた直線と平行な直線を引く。再びグランドロープ上の点から長さ BD の法線を引き、この法線が先に引いた直線と交わる時のグランドロープ上の点を求め、この点から先に鉛直上方に引いた直線と平行な直線を引く。これを順次グランドロープの端まで繰り返す。任意の位置にいる魚 Q_i が入網するまでにグランドロープに接触する回数 m_i は、魚が袖先間隔のどこに位置するかによって決定できる。すなわち、グランドロープから鉛直上方に引いた直線によってボソム部分から順に m_i は 0, 1, 2, ..., j 回となる。そこで (6-1), (6-2) 式によりある任意の袖先間隔での入網尾数は求められる。

ここで想定したグランドロープの形状は左右対称なので片側の部分についてだけを計算して、得られた結果を二倍して求めた。ただし、両端間隔が狭くなると魚が一回の遊泳でボソムを越えて反対側の袖網に達することも起こる。このような場合には計算から除外した。ボソム近傍に位置する魚は遊泳中に移動してきた網に追いつかれてボソムから入網することが考えられるので、この数を試算したが微小な数であったので考慮しなかった。

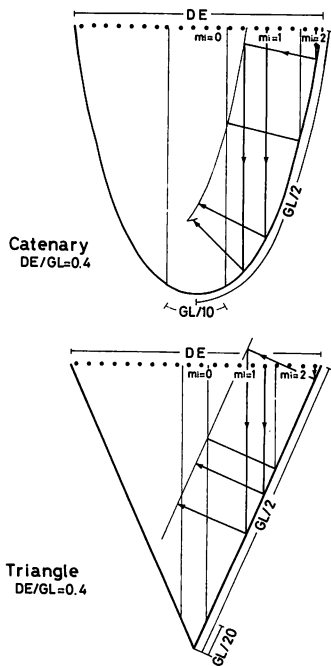


Fig. 6-4. Schematic diagram for counting number of contact of fish to ground rope.

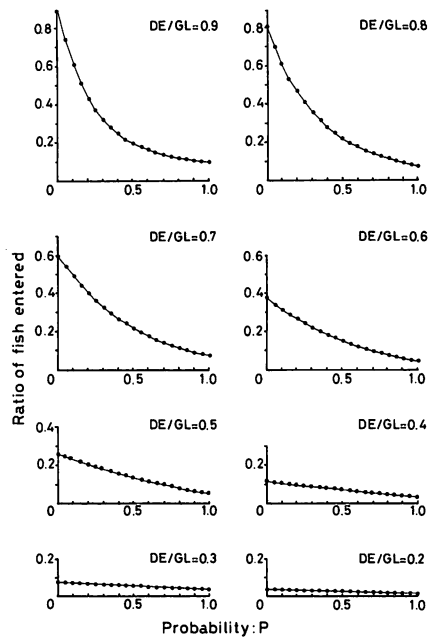


Fig. 6-5. Results of calculations based on fish herding model (Triangle).

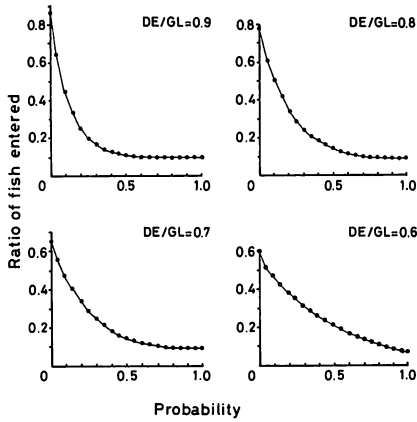


Fig. 6-6. Results of calculations based on fish herding model (Arc).

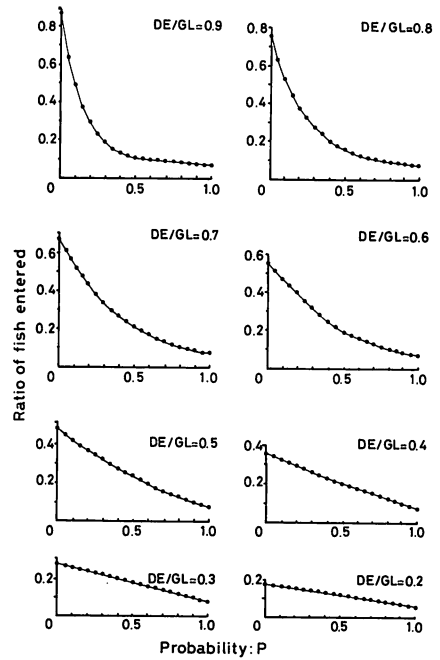


Fig. 6-7. Results of calculations based on fish herding model (Catenary).

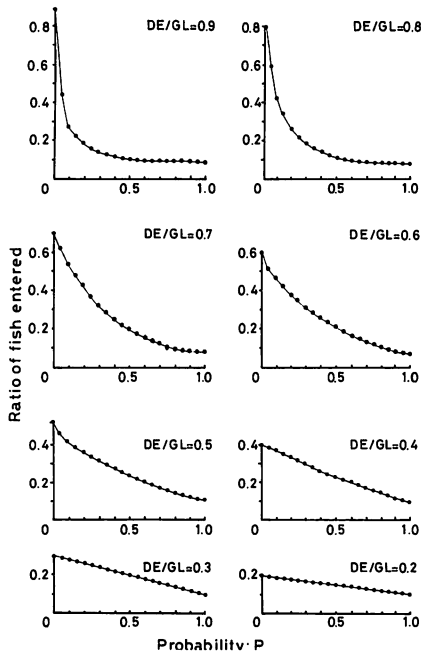


Fig. 6-8. Results of calculations based on fish herding model (Half ellipse).

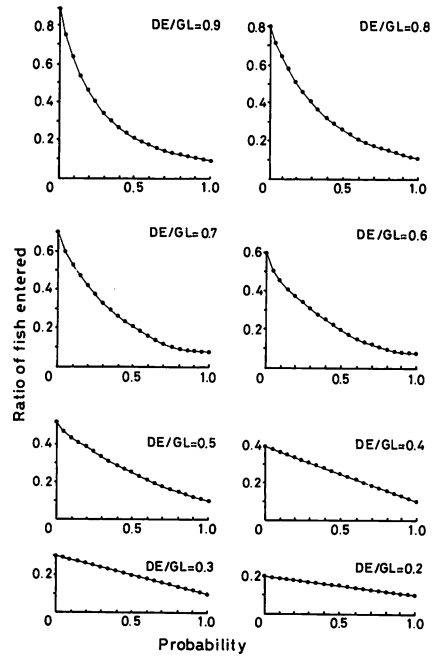


Fig. 6-9. Results of calculations based on fish herding model (Parabola).

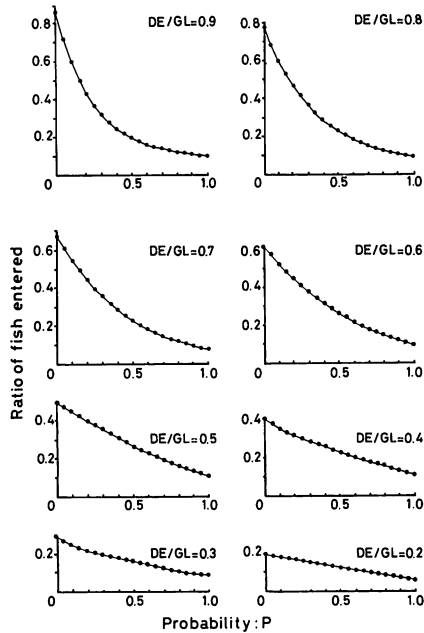


Fig. 6-10. Results of calculations based on fish herding model (Trapezoid).

グランドロープによって駆集されて入網する確率模型にもとずき、駆集されない確率 P を 0～1.0まで0.05ずつ変化させて入網尾数を求め、 $DE/GL=1$ の場合の分布尾数 (50) で除した相対入網尾数 RCF を次式で計算した。グランドロープの形状別に両端間隔を変化させて求めた相対入網尾数と P との関係を図. 6-5 から Fig. 6-10 に掲げる。

$$\begin{aligned}
 RCF &= \frac{1}{50} \sum_{i=1}^n CF_i \\
 &= \frac{1}{50} \sum_{i=1}^n (1-P)^{mi} \quad (6-3)
 \end{aligned}$$

6.3 考察

グランドロープによって駆集されない確率 P は魚種によって異なるがヒラメの場合は平均的な値として0.5程度と考えられる³⁹⁾。確率 P は0から1まで0.05ずつ変えて計算したが、ここでは確率が0.3～0.7の範囲で変わるものと想定して、この範囲で計算した9個の平均値を漁具性能指数を FE と定義し、グランドロープ6種の形状について漁具性能指数を求めた。

$$FE = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^n RCF \quad (6-4)$$

6種のグランドロープの形状ごとに両端間隔別に漁具性能指数を求め示したのが Fig. 6-11 である。同じ形状のグランドロープでも両端間隔の違いによっては漁具性能指数は大き

く異なっている。漁具性能指数が最大となる時の両端間隔はグランドロープの形状によって違ってくる。三角形で80%, 台形では70%となり, カテナリーと放物線では60%, 半楕円で50%付近にある。漁獲性能指数は三角形を除くいずれのグランドロープ形状とも両端間隔が40%以下では形状によって大きな差は認められない。しかし, 三角形はこれらの形状より小さくなっている。最大を示す時の漁具性能指数は半楕円の場合が一番小さくなっている。このようにグランドロープの形状によってそれぞれ顕著な特徴を示す。

ここで想定した駆集モデルでは体長 30 cm のカレイを対象とし, 一回の遊泳距離として, 体長の10倍の速度で2秒間遊泳し, 6 m とした。この距離は対象とした魚種や体長によって異なってくる。体長が小さく遊泳距離が短い場合には, グランドロープとの接触回数が増して漁獲性能指数はいずれの形状でも Fig. 6-8 に示した値よりも低下し, この指数が最大となる時の両端間隔は狭い方へ若干移動する。また, 体長が大きい場合には一回の遊泳距離が大きくなり, グランドロープとの接触回数は減り漁具性能指数は増大する。また, 両端間隔が広い場合には漁具性能は向上するが両端間隔が狭くなるとボソムを越えるものが多くなり漁具性能は低下する。

このようにグランドロープの形状によっても, またグランドロープの両端間隔によっても漁具性能は変化する。一般に魚類を対象とする底びき網では操業時の袖先間隔はヘッドロープの全長の45~55%であり¹⁰⁷⁾, グランドロープの全長に対する比率では38~45%となっている。底びき網漁具はこのような条件で最大の展開形状となるよう設計されている。Fig. 6-11 にはこれらの袖先間隔を破線で示した。この両端間隔を適用して Fig. 6-11 から判断すると底びき網のグランドロープの形状として大きな差は認められないが, 台形と放物線が

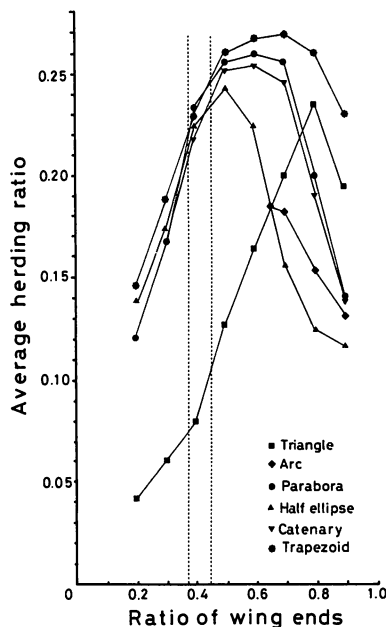


Fig. 6-11. Comparison of the fishing efficiency of six types of supposed ground rope shapes.

最も良く、次いでカテナリーが良いものと判断できる。

現在は網成りに歪みを生じるので袖先間隔は38～45%にして操業しているが、カレイを対象とした駆集モデルから判断すれば袖先間隔をもう少し広げた方が漁獲性能はなお一層向上することが期待できる。そのためには、操業方法および漁具構造の点から検討する必要がある。操業方法については、トロール網ではオッターボードの展開力を増加させ、二そうびき網では両線間隔を広げることであり、漁具構造では底びき網の網地構成を変化させて網成りに歪みが生じないようにすることなどの工夫が必要と考えられる。これらの点について今後検討すべき大きな課題である。

第7章 総合考察

底びき網漁具は底棲の魚介類を効率よく漁獲するために、種々の形状に作られ操業されている。これらの漁具は経験によって改良と淘汰を繰り返してきた。そして、漁具についての模型相似則の確立⁴⁷⁾、や水中計測用機器の開発^{1,2)}、水中超音波による漁業用計測機の開発^{9,12)}に伴って多くの知見を得ることができ、漁具の構造的な改良と漁獲性能の向上に大いに貢献した。近年、水中テレビの発達に伴って曳網中の漁具に対する魚の行動について明らかにされ^{30,33-37,42)}、グランドロープは底びき網の漁獲性能に大きく影響していることが明らかになってきた。しかし、これまでの研究では曳網中のグランドロープ形状の計測^{87,89)}が行なわれたが、グランドロープの機能についての調査・研究はほとんど行なわれていない。そこで、著者は底びき網のグランドロープに作用する力学的諸関係を解析し、その形状を求めると共に、その機能について単純な駆集モデルを設定し、漁獲性能指数を求め検討した。

グランドロープの大きな機能の一つは魚をボソムの前方に駆集することであり、このときグランドロープの形状は駆集機能に大きく影響すると考えられる。この形状はグランドロープの重量構成や筋縄を通して作用する網の流体抵抗によって決定される。本研究ではグランドロープの微小部分に作用する力の力学的関係からその形状を決定する方法を提示し、底質の異なる場所で曳行されたグランドロープの形状がこの方法によって求められることを明らかにした。そこでグランドロープに作用する力の分布がわかればその形状は決定でき、逆にグランドロープの形状が決まればその形状となるためのグランドロープの重量分布が決定されることになる。

魚の漁具に対する反応行動を考慮し、底着性のカレイを対象としてグランドロープによって駆集され入網する確率モデル（以下駆集モデルとする）によってグランドロープの6種の形状ごとの漁具性能指数を求めて比較した結果、実際の使用条件下では台形、放物線、カテナリーが良い性能を示し、それら相互には大きな差はなかった。これまで底びき網のグランドロープの形状はカテナリーであるとされてきたが、放物線はカテナリーと類似した形状であり、漁獲性能の面から検討した結果はこれまでの推測とほぼ一致した。底着性の魚類を漁獲対象とする場合その魚種ごとに漁具に対する行動特性が正確に把握できれば漁獲するための理想的なグランドロープ形状は決定され、その形状を形成するための重量配分は本研究で提示した方法を使用することによって求まる。また、漁具性能指数はいずれの形状でも底びき網が通常曳網している袖先間隔よりも広いところに最大値がある。袖先間隔を広くするこ

とで漁具性能を向上させるにはトロール網ではオッターボードの展開力を増加させ、二そうびき網では両船間隔を広げるなどの作業方法の点からの検討も必要であることが示唆された。

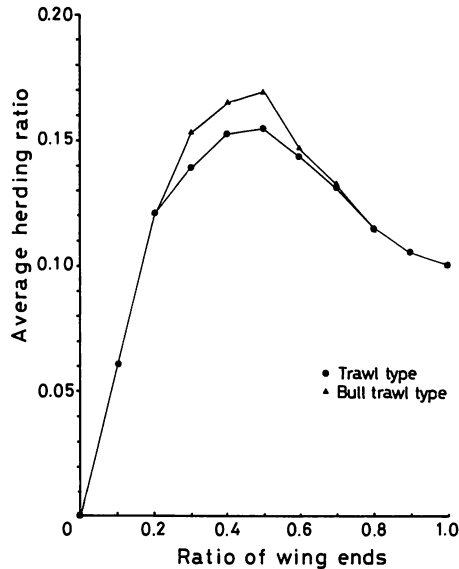


Fig. 7-1. Comparison of the fishing efficiency of two types ground rope.

次に本研究で提示した駆集モデルによって中央部分を加重した重量構成の二そうびき網型、および各部分が等しい重量構成のトロール網型の2種のグランドロープの漁獲性能指数を第6章で考えたカレイを対象とした駆集モデルによって、袖先間隔ごとに計算してみると Fig. 7-1 のようになる。なお、グランドロープ形状の決定はグランドロープの底面抵抗だけを考えた。両者の漁具性能を比較すれば、二そうびき網型の方がトロール網と比較して幾分高い性能を示した。このことは、同時期、同漁場で二そうびき網とトロール網で作業した場合に前者の方が高い漁獲性能を示したとする報告^{66,85,86)}と一致する。

二そうびき網とトロール網は同じひき回し漁具であるがグランドロープの重量構成には大きな差がある。両者の漁具構成の根本的な違いは曳索構成であり、トロール網ではオッターボードの存在が特徴的である。トロール網のオッターボードは流体抵抗によって展開力を発生し、漁具を正常に展開させるためには2ノット以上の曳網速度が要求され展開力は速度の二乗に比例して増加する。そこで展開力に対してグランドロープが軽量または部分的に加重した構造であれば、展開力は相対的に大きくなってグランドロープの形状は水平方向に大きく拡がり底の浅い円弧状となる。このため遊泳力の大きい魚は容易に網外に逃出することになる。また、底着性の魚は網口へ駆集される段階でグランドロープとの接触回数が増え、本研究で提示した駆集モデルから考えると、グランドロープによって駆集される割合が低下して漁獲性能は低下することになる。そのためトロール網のグランドロープはオッターボードの展開力と均衡させるための重量を具備することが要求され、長さを短縮して重量を増加しな

Table 7-1. Annual change of main elements of trawl net.

Year	HR* ² (m)	GR* ² (m)	Buoyancy* ³ B (kg)	Sinker* ⁴ S (kg)	Breadth* ⁵ MB (m)	B/MB (kg/m)	S/MB (kg/m)	Speed* ⁶ (knot)
1963	41.4	50.8	350	400	64.5	5.4	6.2	3.0~3.5
1965	49.9	60.4	275	359	55.5	5.0	6.5	3.0~3.5
—	61.9	79.1	450	759	92.3	4.9	8.2	3.0~3.5
1966	51.6	68.4	530	610	75.0	7.1	8.1	3.2~3.7
1972	59.2	68.0	557	532	79.7	6.7	7.0	3.0~3.5
1973	38.7	47.8	290	330	48.8	5.9	6.8	3.3~3.8
1975	42.1	50.3	350	400	65.3	5.4	6.1	3.5~4.0
1977	37.8	46.6	384	474	58.4	6.6	8.1	4.0~5.0
1980	38.1	48.0	388	492	54.6	7.1	9.0	4.0~4.5
1983	69.6	81.0	918	1531	76.1	12.1	20.1	4.0~4.5
—	55.0	66.0	765	1011	85.2	9.0	11.9	4.0~4.5
—	68.6	83.0	900	1788	74.5	12.1	24.0	4.0~4.5

*1: Head rope length, *2: Ground rope length, *3: Buoyancy of float, *4: Sinking weight of ground rope, *5: Maximum breadth of net *6: Towing speed

ければならなかったと考えられる。Table 7-1 に示しているように近年曳網速度が増加してグランドロープの単位長さ当たりの重量が増加したのはこのような理由であろう。一方二そうびき網のグランドロープは二隻の船が一定間隔を保ちながら曳網する方式であり、展開力は速度によって変化しない。この漁具では曳索の中間にオッターボードのような重量物がないので海底との接触部分を長くにとって曳索とグランドロープの接地抵抗で展開力と均衡させる必要があった。そこでグランドロープは十分な長さが必要となって展開形状を安定的に維持するためにグランドロープは中央部分に向けて重量を漸次加重する構造になったものと考えられる。

底びき網のグランドロープを設計する際に要求されるものは海底への接地性である。現在では、グランドロープの沈降力は浮子の総浮力に一定の倍率を乗じた値としており、この倍率は経験的に決められている。しかし、魚の駆集モデルを使用して重量構成の異なったグランドロープの漁獲性能を検討した結果、グランドロープの総重量に差があっても重量配分の方法によっては漁獲性能を等しくすることができる。このことから底びき網のグランドロープを軽量化しても漁獲性能には変化がなく、沈降力は総浮力を上回るという条件を満足する最小値まで軽量化できることになり、グランドロープの総重量および各部への重量配分については、漁具の構造もあわせて再検討する必要がある。

本研究ではグランドロープを分離独立させてその形状と作用する抗力、およびその構造と機能について種々検討した。しかし、これまでの研究から底びき網の全抵抗のうちグランドロープの抵抗は30~35%であり^{17,93)}、グランドロープの重量配分を変化させるだけではグランドロープの形状を変化させることは困難である。網地に作用する流体抵抗は筋縄を介してグランドロープに作用しているので、この力を考慮してグランドロープの形状を検討する必要がある。カレイを対象とした駆集モデルからは、等脚台形が最大の漁獲性能を示した。そこでグランドロープ形状をこの台形にするために網地に作用する流体抵抗と底面抵抗との力の分布について、空中に垂下したチェーンを使って、ボトム部分（全長の10%）の両端部分

に荷重を順次加えて検討した。この結果、ボソム両端に全抵抗の約35~40%の抵抗を集中させるような漁具構造とすれば、台形のグランドロープが形成できることになる。このような形状とするためには筋縄の配置を工夫してこの部分に網地の抗力を集中して作用させたり、底びき網漁具の腹網の幅を広くすることも一つの方法である。

底びき網の漁獲性能について論じる場合には、漁具を構成する袖網や袋網、手網、オッターボード、曳索なども含めて総合的に考える必要があり、この点については今後の研究課題としたい。

謝 辞

本研究の遂行と論文の作成に際して終始絶大なるご指導を賜った北海道大学水産学部教授佐藤修博士に謹んで感謝の意を表します。また、論文作成に際し、有益なご助言とご批判を賜った同教授五十嵐脩蔵博士、同助教授梨本勝昭博士および同助教授山本勝太郎博士に深湛なる感謝の意を表します。また、終始有益なご教示をいただき、励まして下さった鹿児島大学水産学部教授肥後伸夫博士、同助教授今井健彦博士に深謝します。実験装置などについては鹿児島大学水産学部漁具学講座田畑静夫技官ならびに同機械工場高岡勝義技官のご助力をいただいた。これらのかたがたに心より感謝の意を表します。

文 献

- 1) 熊凝武晴, 葉室親正, 石井謙二 (1954): 底びき網用自記式網高さ計, GR 展開計及びそれらの実験結果について, 漁船研技報5, 73-140.
- 2) 熊凝武晴, 葉室親正, 石井謙二 (1955): 自記式網高さ計, GR 展開計とそれらのトロール網に就いての実験結果, 漁船研技報, 6, 41-92.
- 3) 葉室親正 (1954): 網口の高さとグランドロープの方向を自記することによる二艘曳機船底曳網の研究, 日本誌, 20, 353-358.
- 4) 葉室親正 (1954): 網口の高さ計, HR 及び GR 張力計とそれらの二艘曳機船底曳網での実験結果, 漁船研技報, 12, 61-84.
- 5) 葉室親正 (1959): 底曳網用測定器を使用しての一艘曳機船底曳網の測定実験, 漁船研技報, 13, 55-80.
- 6) 葉室親正 (1962): OTTER TRAWL 漁具の改良とその網成り測定, 漁船研技報, 16, 11-69.
- 7) 葉室親正 (1964): 大型スタントローラーによる海上実験, 漁船研技報, 18, 1-32.
- 8) J. Nichols (1963): Trawl Gear Instrumentation and Full Scale Testing, Modern Fishing Gear of the World Vol. 2, Fishing News Books, London, pp. 497-512.
- 9) 高山重嶺, 小山武夫 (1962): トロールに関する研究—V トロール網の袖先間隔を測定する装置及びその計算式について, 東海区水研報, 31, 289-296.
- 10) 高山重嶺, 小山武夫 (1962): 中層トロールに関する研究—II, 東海区水研報, 29, 47-54.
- 11) M. Kato and S. Nonaka (1968): The Relation between the Trace of Fish School Recorded by the Net Recorder and the Catch of Trawl Fishing in the Northwest Pacific Ocean, Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 34, 49-58.
- 12) 加藤増夫 (1975): 水中遠隔魚群探知機による Trawl 網口の観測, 日本誌, 41, 515-528.
- 13) 谷口武夫, 陣野鉄朗, 木村近雄 (1969): 115尺4枚仕立てトロール網の海上実験, 水大校研報, 17, 21-36.

- 14) 谷口武夫, 南 四郎, 隈川芳雄 (1968): 100尺2枚仕立てトロール網の海上実験, 日水誌, **34**, 899-894.
- 15) 不破 茂, 肥後伸夫 (1974): 底曳網の網成りに関する研究, 鹿大水紀要, **23**, 35-43.
- 16) 不破 茂 (1981): 張力記録からみた二そうびき網の動態について, 鹿大水紀要, **30**, 47-55.
- 17) 不破 茂 (1978): 底曳網の網類にかかる張力についての考察 (予報), 鹿大水紀要, **27**(1), 147-154.
- 18) 不破 茂, 肥後伸夫, 柿本亮 (1980): 陸棚斜面漁場における漁具の基礎的研究—I, 鹿大水紀要, **29**, 65-71.
- 19) 秋重祐章, 矢田殖朗, 高木保昌, 合田政治, 平松次夫 (1975): トロール網の網口高さに関する考察, 長大水研報, **39**, 41-46.
- 20) 小山武夫, 桜井五郎, 隅川芳雄 (1968): 船尾トロールの投揚網時におけるワープ張力の測定結果, 日水誌, **34**, 903-906.
- 21) 小山武夫 (1966): 300~3000トン級トローラーの曳網力について, 日水誌, **32**, 475-479.
- 22) 小山武夫 (1967): トロール網の抵抗について, 日水誌, **33**, 74-80.
- 23) 天下井清 (1972): 船体運動と漁具との力学的関係について (I) トロール船における船体動揺とワープ張力の統計的特性, 北大水産彙報, **22**, 167-72.
- 24) 天下井清 (1972): 船体運動と漁具との力学的関係について (II) トロール船における船体動揺とワープ張力の応答特性及び最大値の予測, 北大水産彙報, **23**, 102-126.
- 25) 天下井清, 川島利兵衛 (1984): 船尾トロールにおけるワープ張力の予測について, 日水誌, **50**, 1487-1489.
- 26) 宮崎千博 (1957): 小型機船底曳網の研究, 三重県大水紀要, **22**, 98-220.
- 27) 斎藤市郎, 藤井武治, 山本耕作, 前田辰昭 (1953): 底曳網漁法の研究 (昭和28年度) 北部日本海魚田調査報告, **4**, 33-38.
- 28) Scottish Home Dept's Marine Laboratory (1952): Underwater Photography of Seine Net Whilst Fishing, *World Fishing*, **1**, 329-334.
- 29) G. Thorsteinsson (1984): Recent Developments in the Icelandic Seine Fishery, International Council for the Exploration of the Sea 1984, 1-9.
- 30) C. C. Hemmings (1969): Observation on the Behaviour of Fish during Capture by the Danish Seine Net, and their Relation to Herding by Trawl Bridles, *FAO Fisheries Reserch Reports*, **62**, 645-655.
- 31) J. Russel (1959): Underwater TV and the Fisheries, *World Fishing*, **8**, 41-43.
- 32) R. Livingstone (1962): Underwater Television Observaton of Haddock (*Melanogrmmus aeglfinus*) in the Cod-end, *Scottish Fisheries Research Report*, **27**, 43-48.
- 33) J. Main and G. I. Sangster (1978): The value of Direct Observation Techniques by Diver in Fishing Gear Research, *Scottish Fisheries Research Report*, **12**, 1-15.
- 34) J. Main and G. I. Sangster (1979): The Study of Bottom Trawling Gear on both Sand and Hard Ground, *Scottish Fisheries Research Report*, **14**, 1-15.
- 35) J. Main and G. I. Sangster (1981): A Study of the Sand Clouds Produced by Trawl Boards and their Possible Effect on Fish Capture, *Scottish Fisheries Research Report*, **20**, 1-20.
- 36) J. Main and G. I. Sangster (1981): A Study of Fish Capture Process in a bottom Trawl by Direct Observaton from a Towed Underwater Vehicle, *Scottish Fisheries Research Report*, **23**, 1-23.
- 37) J. Main and G. I. Sangster (1983): Fish Reactions to Trawl Gear—A Study Comparing Light and Heavy Ground Gear, *Scottifh Fisheries Research Report*, **27**, 1-17.
- 38) J. Main and G. I. Sangster (1981): A Study of a Multi-Level Bottom Trawl for Species Separation using Direct Observation Techniques, *Scottish Fisheries Research Report*, **26**, 1-17.
- 39) J. H. Blaxter, B. B. Parrish and W. Dickson (1966): The Reaction of Marine Fish to Moving Netting and Other Devices in tanks, *Marine Resarch*, **1**, 3-15.
- 40) J. Main and G. I. Sangster (1963): The Importance of of Vision in the Reaction of Fish to Driftnets and Trawls, *Modern Fishing Gear of the World Vol. 2*, Fishing News Books, London, pp. 529-536.
- 41) C. J. Chapman (1963): Importance of Mechanical Stimuli in Fish Behaviour, Especialy to Trawls,

- Modern Fishing Gear of the World, Vol. 2, Fishing News Books, London, pp. 537-539.
- 42) C. S. Wardel (1983): Fish reactions to towed fishing gears, in "Experimental Biology at Sea" (ed. by A. G. Macdonald and I. G. Priede), Academic Press, New York, pp. 167-195.
 - 43) 草下孝也 (1957): 駆集網に関する二つの実験方法による網目の大きさ, 日水誌, **23**, 1-5.
 - 44) 草下孝也 (1957): 魚の種類による二つの実験方法による網目の大きさ, 日水誌, **23**, 662-667.
 - 45) 鈴木 誠 (1971): 定置網に関する魚類の行動と漁具の機能に関する基礎的研究, 東水大研報, **57**, 95-171.
 - 46) 宮本秀明 (1965): 網漁具に対する魚群の行動, 日水誌, **31**, 1049-1063.
 - 47) M. Tauti (1934): A Relation Between Experiment on Model and Full Scale of Fishing Net, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **3**(4), 171-177.
 - 48) 宮本秀明 (1935): 三河湾に於ける打瀬網の模型実験, 日水誌, **4**, 391-396.
 - 49) 野村正恒, 安井達夫 (1939): 底曳網の模型実験, 日水誌, **18**, 727-733.
 - 50) 小池 篤 (1954): 底層曳網模型実験, 日水誌, **19**, 8-11.
 - 51) 小倉通男 (1955): 中層曳網模型実験, 日水誌, **20**, 259-262.
 - 52) 野々田得郎 (1955): バッチ網の模型実験, 日水誌, **20**, 259-262.
 - 53) 本多勝司 (1958): トロール網模型実験, 日水誌, **23**, 608-611.
 - 54) 高山重嶺, 小山武夫, 武富 一 (1959): トロール網に関する研究一Ⅲ, 東海区水研報, **24**, 4-18.
 - 55) 小山武夫, 岩井元長, 横地達男, 前川治 (1964): 大型トロール網模型実験, 東海区水研報, **38**, 125-134.
 - 56) 肥後伸夫, 徳永喜郎, 田中健悟 (1973): 底曳網の研究一Ⅱ 切りかえ網の効果について, 鹿大水紀要, **22**, 147-155.
 - 57) 不破 茂, 柿本亮, 肥後伸夫 (1980): 陸棚斜面漁場における漁具の基礎的研究一Ⅱ, 鹿大水紀要, **29**, 73-80.
 - 58) 不破 茂, 肥後伸夫 (1981): 陸棚斜面漁場における漁具の基礎的研究一Ⅲ, 鹿大水紀要, **30**, 39-46.
 - 59) 唐逸民, 神田献二 (1982): 離底オッタートロールの研究一Ⅰ 離底曳網の実物網と模型実験の比較, 東水大研報, **68**, 49-55.
 - 60) 唐逸民, 神田献二 (1982): 離底オッタートロールの研究一Ⅱ 離底曳と底曳兼用漁法について, 東水大研報, **69**, 57-65.
 - 61) 李珠熙 (1983): 銚子沖合中型トロール網の模型実験について, 北大水産彙報, **34**, 334-344.
 - 62) 谷口武夫 (1961): 二艘曳機船底曳網の模型実験一Ⅰ, 水大校研報, **10**, 1-16.
 - 63) 谷口武夫 (1961): 二艘曳機船底曳網の模型実験一Ⅱ, S-1 型網の模型実験ならびにその漁獲効果について, 水大校研報, **11**, 9-35.
 - 64) 谷口武夫 (1966): 二艘曳機船底曳網の模型実験一Ⅲ, 水大校研報, **15**, 27-39.
 - 65) 谷口武夫 (1968): 二艘曳機船底曳網の模型実験一Ⅳ, 水大校研報, **16**, 31-93.
 - 66) M. Nomura, K. Mori, Y. Oosawa, Y. Shimada and K. Senga (1978): Factors of Trawl Net Construction Relation to the Height of Net Mouth, *Bull. Nat. Res. Ins. Fish, Eng.*, **91**, 53-6.
 - 67) M. Nomura, K. Mori, Y. Tawara, Y. Oosawa, Y. Shimada and K. Senga (1980): Factors of Trawl Net Construction Relation to the Height of Net Mouth-II, *Bull. Nat. Res. Ins. Fish, Eng.*, **1**, 115-166.
 - 68) 肥後伸夫 (1971): 底曳網の漁獲性能に関する基礎的研究, 鹿大水紀要, **20**, 1-137.
 - 69) 李珠熙, 神田献二, 佐藤 修 (1983): 銚子沖合底曳網漁業の1曳網当たりの漁獲量による漁獲性能の比較, 日水誌, **49**, 853-858.
 - 70) 李珠熙, 神田献二, 佐藤 修 (1983): 銚子沖合底曳網漁業における漁具と漁獲性能との関係, 日水誌, **49**, 859-866.
 - 71) 谷口武夫 (1955): 水中に於ける各種囊網の抵抗について一Ⅰ, 日水誌, **21**, 291-296.
 - 72) 谷口武夫 (1956): 水中に於ける各種囊網の抵抗について一Ⅱ, 日水誌, **21**, 969-974.
 - 73) 谷口武夫 (1956): 水中に於ける各種囊網の抵抗について一Ⅲ, 日水誌, **21**, 1107-1109.

- 74) 谷口武夫 (1957) : 水中に於ける各種囊網の抵抗について—IV, 日水誌, **22**, 727-729.
- 75) 肥後伸夫 (1964) : 底曳網の研究—I, 鹿大水紀要, **13**, 78-92.
- 76) 李珠熙 (1983) : 底曳網の形状に関する研究—I 単純化した袋網を2点で支えた時の断面形状について, 北大水産彙報, **34**, 323-333.
- 77) T. Kawakami and O. Suzuki (1959) : Studies on the Kinematic Behaviour of the Ground Rope on the Trawl Net-I, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **25**, 413-415.
- 78) O. Suzuki and T. Kawakami (1960) : Studies on the Kinematic Behaviour of the Ground Rope on the Trawl Net-II, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **26**, 204-206 (1960).
- 79) O. Suzuki (1962) : Differential Equation of Sweep Line, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **28**, 985-987.
- 80) O. Suzuki (1962) : Experimental Verification for Differential Equation of Sweep Line, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **28**, 204-206.
- 81) O. Suzuki (1962) : Behaviour of sweep line in pair trawling, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **28**, 1051-1055 .
- 82) O. Suzuki (1963) : Behaviour of Sweep Line in Danish Seining-I, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **29**, 1071-1076.
- 83) O. Suzuki (1964) : Behaviour of Sweep Line in Danish Seining-II, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **30**, 21-28.
- 84) O. Suzuki (1964) : Behaviour of Sweep Line in Danish Seining-III, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **30**, 29-36.
- 85) O. Suzuki (1965) : Behaviour of Sweep Line with Heavy Ball, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **31**, 403-408.
- 86) O. Suzuki (1965) : Field Experiment on Pair-Trawling, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **31**, 493-499.
- 87) 葉室親正 (1959) : トロール網と二そう曳き機船底曳き網成りによる漁獲性能の考察, 日水誌, **25**, 103-1100.
- 88) 神田献二 (1966) : 遠洋大型底曳網漁業の漁獲性能に関する研究, 東水大特別研報, **4**, 1-158.
- 89) 葉室親正 (1959) : “漁具測定論”, pp. 32-250 (槇書店, 東京).
- 90) 山田純三郎 (1980) : 東海黄海の底びき網漁船の曳索について, 底魚資源研究連絡, **66**, 1-11.
- 91) 本田啓之輔, 片上圭四郎, 高屋 潔 (1963) : 短錨鎖における走錨抵抗, 日本航海学会誌, **29**, 9-19.
- 92) 浦 環, 戸島敏雄 (1980) : 繫留された浮体の過渡応答に関する基礎的研究, 日本造船学会論文集, **148**, 129-135.
- 93) A. Fujiishi and T. Iishizuka (1974) : Basic Studies on the Shrimp Drag-II Field Experiments using a 15 meter Shrimp Drag with a Cover Net, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **40**, 993-997.
- 94) D. N. Maclean (1982) : The Drag of Four-Panel Demersal Trawls, *Fisheries Research*, **1**, 23-33.
- 95) D. U. Possit (1974) : Ergebnissedes praktischen Einstazes von Gummigrundtauelementen, *Fisleri-Forschung*, **12**, 47-52.
- 96) 金田禎之 (1977) : “日本漁具・漁法図説”, pp. 1-119 (成山堂, 東京).
- 97) 津田初二, 中谷三男 (1981) : “船尾トロール漁業入門”, pp. 121-158 (成山堂, 東京).
- 98) 日本水産学会漁業懇話会(編) (1982) : トロールにおける選択漁法——漁獲禁止魚種の混獲防止について, 日本水産学会漁業懇話会報, **18**, 1-28.
- 99) 山内恭彦, 末岡潔市(編) : “力学”, pp. 165-167 (裳華房, 東京).
- 100) 近藤 仁, 鈴木 誠 (1959) : 網地の応力分布—I 静荷重について, 日水誌, **25**, 519-524.
- 101) 森川敬信, 鮎川恭三, 辻 裕 (1981) : “流れ学”, pp. 89-93 (朝倉書店, 東京).
- 102) 川島利兵衛, 田中昌一, 塚原 博, 野村 稔, 豊水正道, 浅田陽治(編) (1981) : “新水産ハンドブック”, pp. 21-26 (講談社, 東京).
- 103) 江守一郎, D. J. シューリング (1979) : “模型実験の理論と応用”, pp. 167-175 (技報堂, 東京).
- 104) 不破 茂 (1987) : ポビンが海底から受ける力についての検討, 日水誌, **53**, 1999-2003.
- 105) 佐藤 修 (1967) : 人工魚礁研究に関する若干の問題点, 水産増殖, 臨**7**, 43-62.
- 106) F. W. H. Beamish (1978) : Swimming Capacity, in “Fish Physiology” (ed. by W. S. Hoar and D. J.

Randall), Vol. 7, pp. 101-178, Academic Press, New York.

- 107) 和田光太 (1975): “実用トロール漁法”, pp. 135-140 (成山堂, 東京).