

流れ制御に関する実海域実験

大野 健一*¹ 浮田 基信*¹ 続 辰之介*¹

フレキシブル障壁が、流れに変動を起こさせる手段として、有効なことは、水槽試験の結果、確かめられており、このことは既報で述べたとおりである。

帆布材料の一辺にフロートを付したフレキシブルな壁を40mの海底に沈設した。

この実験は、予備実験的なもので、計測機器も不十分であったが、流れの乱れもいろいろ見分けることができ、また、魚探による観測では、装置の周辺に魚群の蝟集するのが見られた。

Experiments on a Flexible Wall at the Actual Sea Bottom

Ken-ichi Ohno*², Motnonobu Ukita*², Tatsunosuke Tsuzuku*²

The effectiveness of flexible walls as means of originating disturbances in the stream has been confirmed by the tank tests previously reported.

A flexible wall made of canvas with floats at the upper edge was set upright on the bottom at a 40 mm depth.

Despite the performance of the test with insufficient instruments as preparatory to next year's test, some disturbances in the stream were distinguished, and schools of fishes were observed around the wall by echo sounding.

*1 海洋利用技術部

*2 Marine Exploitation Technology Department

1. はじめに

人工構造物によって湧昇を起こさせる目的で、既に各種形状の人工構造物の縮尺モデルによる水理実験を回流水槽中で実施し、模型は剛のものよりもフレキシブルな方が渦の発生が多いこと¹⁾を確かめた。さらに、流れの中に設置した構造物によって流れがどのように変化するかを、二次元一様流で、時間平均した層流問題に限った条件下であるが、理論計算で求め、開発すべき人工構造物の様式、規模等の基礎的な資料²⁾を得た。

そこで、今回(昭和54年度)は、小型装置を実海域に設置し、流れの観測を実施し、昭和55年度に実施する本実験のための基礎資料を得るために行った実験である。また、副次的効果として、小型装置近傍に認められる魚群の蝟集状態を観測したので、合わせて報告する。

なお、本研究を行うにあたり、全般にわたって、ご指導賜った農林水産省水産工学研究所 中村 充 博士に感謝の意を表す。また、実海域における作業では、東海大学海洋学部佐藤孫七教授のご指導および海洋科学技術センター海洋利用技術部、研修部の諸氏の積極的な協力によるところが大である。また、魚探調査等における第八仁豊丸 伊関豊船長のご協力に対して感謝の意を表す。

2. 実験の装置と実施経過

小型実験装置として用いた材料は、テント等に使用されるシート(ビニロン)材である。その大きさは、長さ10 m、高さ4 mで、浮力を持たせるため、その上縁に球型ブイ(直径300 mm、浮力12.5 kg)9個を取り付けた。また、小型装置を海底に固定させるため、錨(250 kg)2個を使用した。

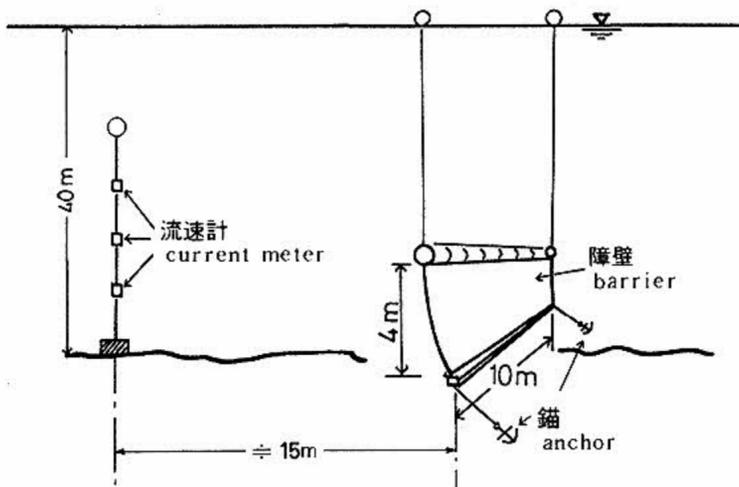


図1 実験装置の概略
Sketch of the mooring

流動現象の観測には、株式会社鶴見精機製の流向流速水温計(MTCM-4型)3台を海底から5 mごとに取り付け、小型装置で約15 m離して設置した。測定は、流向、流速、水温の3項目で、約75時間(約3日間)の記録を取るようセットした。図1は小型装置と計測装置の設置状態を示す。

実験海域は山形県鶴岡市由良港沖約3 kmの地点で、装置の設置水深は約40 mであった(図2参照)。

調査は昭和54年8月21日~24日、同年9月1日~6日の2回行った。

なお、当海域の流動状況は、一般に陸岸方向に沿う北東方向が卓越し、そのため小型装置を流れの方向に直角(北西~南東方向)になるよう設置した。

3. 流れ場におけるシートの形状

シートは上縁のブイで静水中では直立を保ち、流れのある場合には曲線状に撓む。形状によって圧力分布が変わり、圧力分布の変化によって形状が変化する。流速が大きいと、シートは大きく撓み、上縁のブイの浮力が大きいと撓みが減少する。

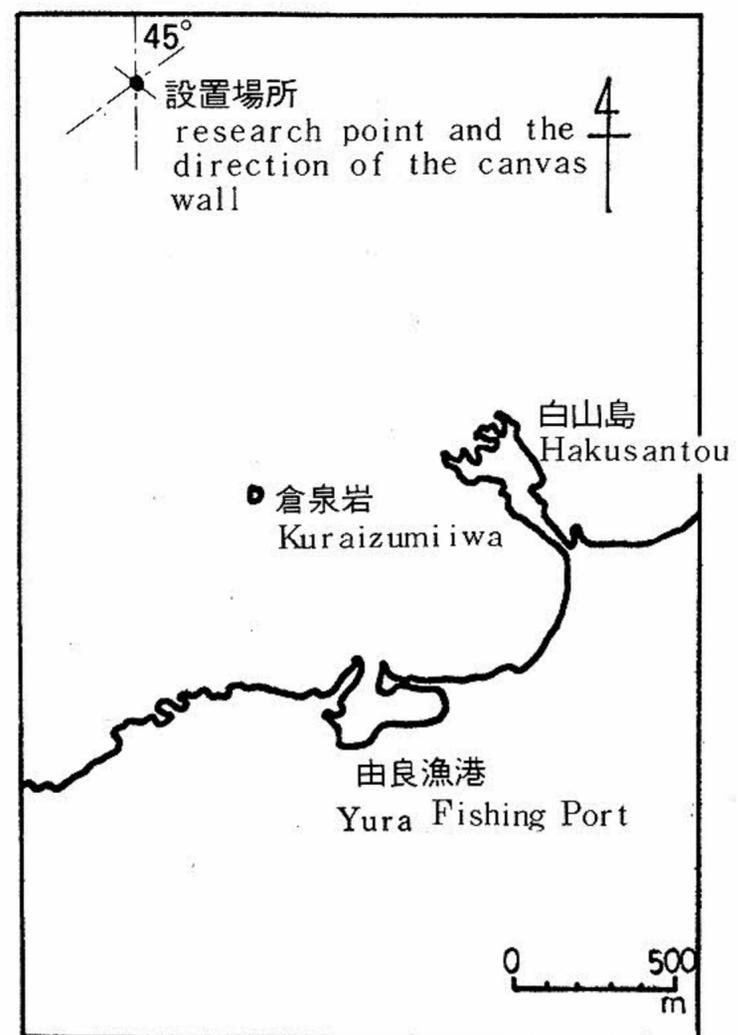


図2 観測地点
Location

しかし、シートが倒れることは、過大な流速に遭遇したときの安全弁の役目をする。水平力は下縁のウェイトの把駐力で支えなければならない。これらの力を正確に計算することはほとんど不可能に近い。そこで、次のような近似計算によって、大体的見当をつけることにした。

図3に示すように、 PQ の幅(=S)を有するシートの一辺Pに重錘を付けて海底に固定し、他の辺Qに浮力Bを有するブイを取付けたとする。

流速Vなる一様な流れの中で、シートは PQ' のように変形する。ブイの抵抗はシートに比べて小さいため、無視できるとし、シートの比重は海水と同じとする。

Q' を原点とする座標軸をとり、シート上の一点M(X, Y)における張力をT, 垂直となす角を θ とすると、 QM に対する力の釣り合いは、

$$T \cos \theta = B \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$T \sin \theta = f \cdot Y \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、fは流速Vによる抵抗力であり、一般には、次式で示される。

$$f = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 C_D は抵抗係数、 ρ は海水密度(104 kg・S²/m⁴)である。

ここで C_D は流れに直角な長方形板の上半分と考え、 $C_D = 1.15$ とする。すなわち、長方形板(長辺a, 短辺b)の抵抗係数は、 $a/b = 1$ で $C_D = 1.12$, $a/b = 2$ で $C_D = 1.15$, $a/b = 4$ で $C_D = 1.19$ である(機械工学便覧), この場合、 $a = 10$ で、bは海底面を中心線と考えると、 $b \leq 8$, a/b は1.25~1.5程度になるから $C_D = 1.15$ としてもほとんど支障ない。

次に、点M(X, Y)における曲線の切線方向は、次式で示される。

$$\frac{dx}{dy} = \tan \theta \quad \dots\dots\dots (4)$$

(1)式、(2)式および(4)式から次式がえられる。

$$\tan \theta = \frac{f}{B} Y = \frac{dx}{dy} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{B}{f} = P \quad \dots\dots\dots (6)$$

(5)式に(6)式を代入すると、つぎのようになる。

$$P dx = Y dy \quad \dots\dots\dots (7)$$

この(7)式を積分し、原点の条件を入れると、次式のようになる。

$$Y = 2 PX \quad \dots\dots\dots (8)$$

これは拋物線であり、原点から一点(X, Y)までの曲線の長さSは、次式で求められる。

$$S = \frac{1}{2P} \left\{ Y \sqrt{Y^2 + P^2} + P^2 \log \frac{Y + \sqrt{Y^2 + P^2}}{P} \right\} \dots\dots (9)$$

ただし、この式にSとPを与えてもYを求めることはできないので、いろいろなPの値に対するYとSとの関係を示す曲線群を図4に示す。

次に(X, Y)における張力Tは、(1)式、(2)式および(6)式から、次式がえられる。

$$T = \sqrt{B^2 + f^2 Y^2} = \frac{B}{P} \sqrt{Y^2 + P^2} \quad \dots\dots (10)$$

で、その点における θ は、次式のようになる。

$$\tan \theta = \frac{Y}{P} \quad \dots\dots\dots$$

この式から、つぎのようになる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Y}{P} \quad \dots\dots\dots (11)$$

そこで、実験に供試したシートについて計算例を示す。

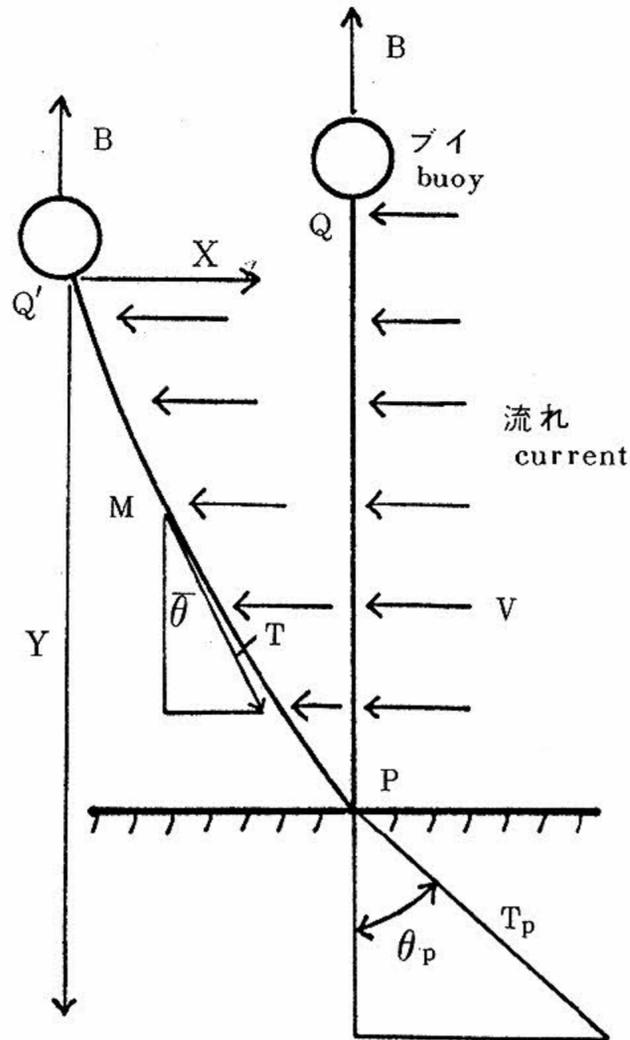


図3 シートの計算条件
Calculating condition

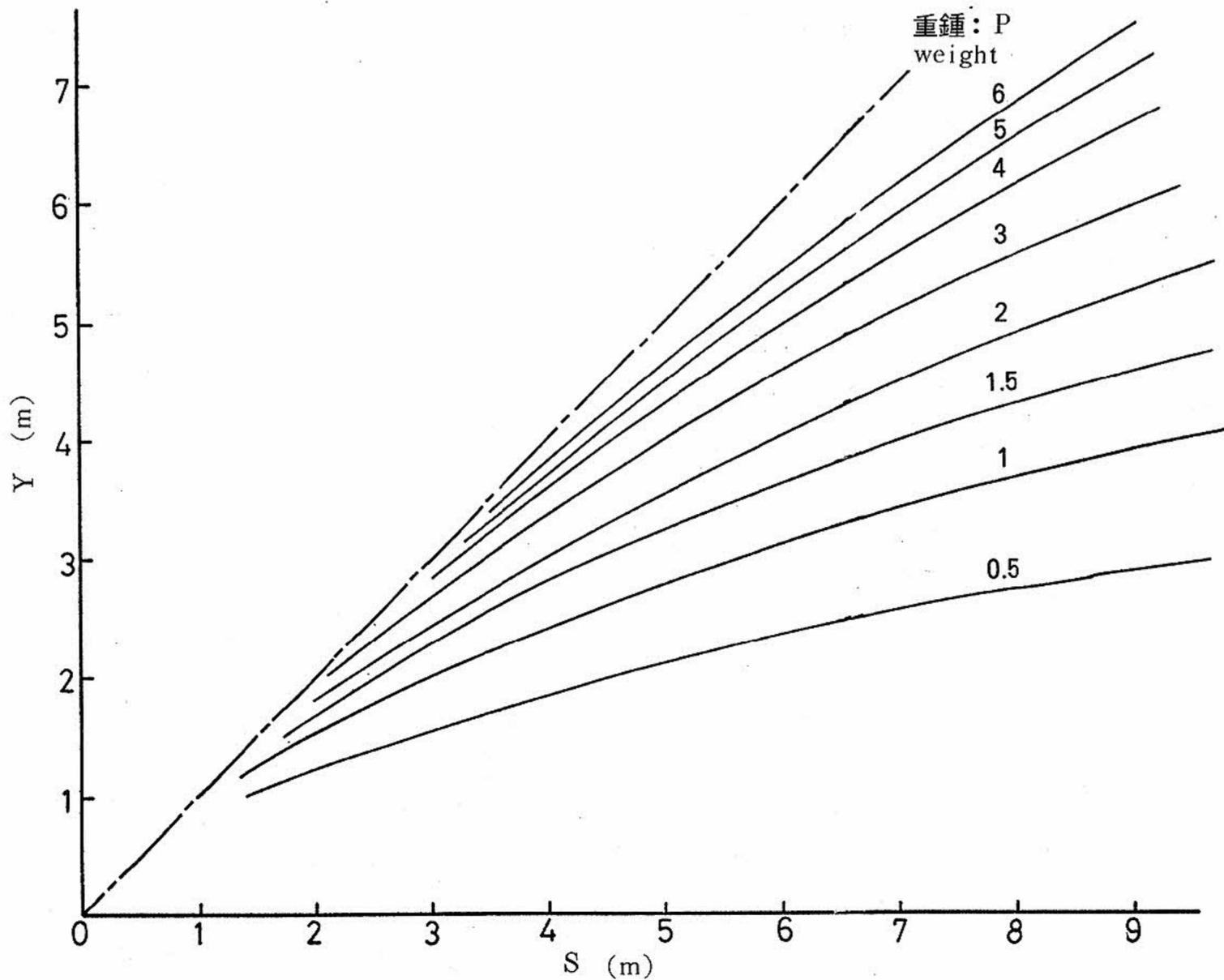
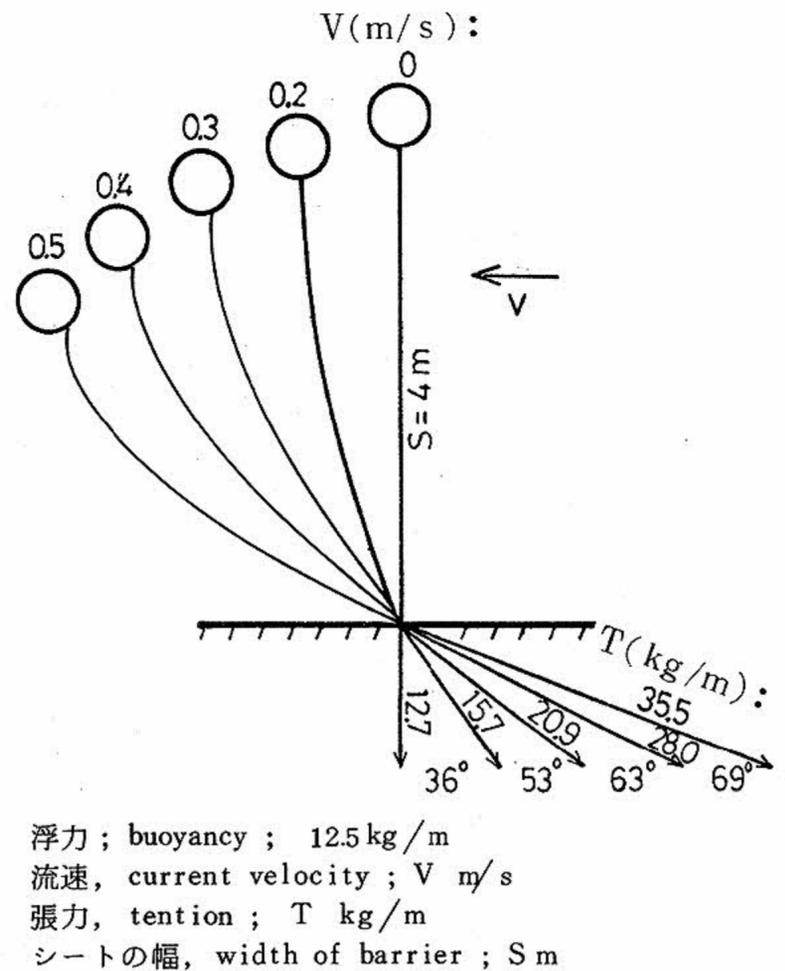


図 4 Y と S と の 関 係
Relation between Y and S

シートの幅 S は 4 m, ブイの浮力を 12.5 kg/m とし, 流速 V は 0.2, 0.3, 0.4 および 0.5 m/s のときの Y, X, θ, T などを算出し, 図 5 に示す。

シートの形状を厳密に計算することは, 今のところ不可能と言ってよい。垂直平板, 傾斜平板については, 坂本ら^{3,4)} (1976 a, b) の乱流境界層内の問題としての研究がある。しかし圧力係数の式中にはいくつかの実験によって定めるべき定数を含んでいる。シートの場合のように, 圧力分布によって変形の状況が変わり, それによって, 圧力分布が変化するため厳密な計算はきわめて困難になる。

しかし, 実用的には上に述べた近似計算で, 差支えないと考える。なお, 実海域での実測は水深が大なるため実施できなかった。



浮力 ; buoyancy ; 12.5 kg/m
流速, current velocity ; V m/s
張力, tension ; T kg/m
シートの幅, width of barrier ; S m

図 5 計 算 例
Computation

4. 計測の結果および考察

前述のように、昭和54年度の計測装置は1箇所3段の流向流速水温計を設置しただけで、対象点がないので、シートによる流水の変化を厳密に把握することはできなかった。しかし、流向が変化するので、シートの有無による流況の変化の概要は把握することができた。

図6は観測結果の一例を示したものである。この図は、昭和54年9月2日 17時30分～18時30分までの1時間の観測データを示したものであり、1minごとの流向、流速および水温のそれぞれの平均値をプロットしたものである。

この時間帯はシートの影響を受けていると思われるときのもので、下段の流向の変化、水温にみられる上中段および中下段の混合、さらに流速では上段の変動が比較的少ないのに比べ、中下段では変動が頻繁に生じている。

多くの場合、夏季、海水は水温および塩分に起因する鉛直密度成層が形成される。

この密度成層は重い下層水が上層に連行することは少なく、成層面における乱れが小さいから流速の平均化は起こりにくい。そのため、上層流と下層流とは流速および流向を異にする場合が多い。

そこで、観測地点での海洋の物理的性質を知るため、海水の密度を試算した。海水の密度 ρ は塩分濃度、温度および圧力によって異なり、約1,000～1,031 g/m³であるので、通常、 $(\rho - 1) \times 1,000$ で示し、圧力1気圧の状態、この値を σ_t と書く。

$$\sigma_t = (\rho - 1) \times 1,000 \quad \dots\dots\dots (12)$$

σ_t と水温および塩分との関係⁵⁾は、次のように示される。

クヌーッセンによれば、塩素量Cl (‰)と σ_0 の間には、次式のように示される。

$$\sigma_0 = -0.069 + 1.4708 Cl - 0.001570 Cl^2 + 0.0000398 Cl^3 \quad \dots\dots\dots (13)$$

また任意の温度tにおける密度 σ_t は、つぎのように表わされる。

$$\sigma_t = \Sigma t + (\sigma_0 + 0.1324) \{ 1 - A_t + B_t (\sigma_0 + 0.1324) \} \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここで、 Σt 、 A_t および B_t はそれぞれ温度だけの関数である。

$$\left. \begin{aligned} \Sigma t &= -\frac{(t-3.98)^2}{503.570} \cdot \frac{t+283}{t+67.26} \\ A_t &= t (4.7867 - 0.098185 t + 0.0010843 t^2) \times 10 \\ B_t &= t (18.030 - 0.8164 t + 0.01667 t^2) \times 10 \end{aligned} \right\} (15)$$

なお、計算に用いた水温および塩分は、昭和52年度山形県水産試験場で実施された人工礁漁場造成事業調査報告書⁶⁾によった。著者らの観測では塩分は測定していないが、巨視的にみれば、同海域の物理的性質に大きな変動がないと考えたからである。

つぎに計算した結果を示す。

採取位置		海水密度	σ_t	ρ
表	層		21.947	1.022
40 m	層		24.343	1.024

この海域はゆるい密度成層を形成していることがわかる。

このような密度の異なる成層流体中の内部には、風、潮汐、潮流、その他によって成層面に波動が生じている。これを内部波という。海底地形によって内部波縁辺では、内部波は段波状となり、内部流となる。段波前線は複雑な分裂波峰をもって上層水と混合し、また内部射流は局所的地形障害によって跳水を起こし、渦動流を形成する⁷⁾。

流体の密度と流速が鉛直方向に変化している場合には、ある条件のもとで、流れは不安定となり乱流状態になる。乱れが発達するか、減衰するかは、リチャードソン数によって論じられている。すなわち、

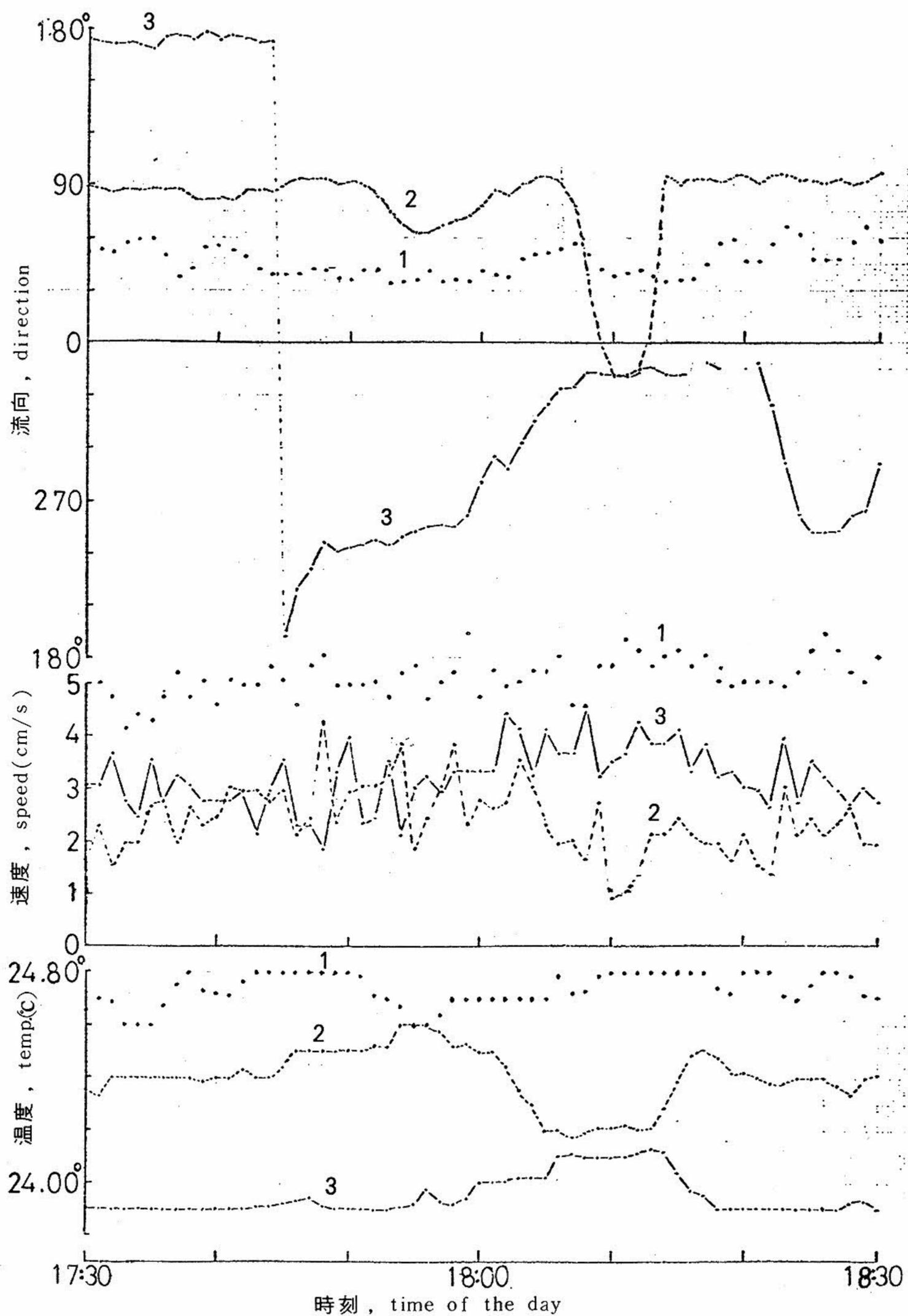
$$\begin{aligned} \text{リチャードソン数 (Ri)} \\ = -g \left(\frac{dl}{dz} \right) / \rho \left(\frac{du}{dz} \right) \quad \dots\dots (16) \end{aligned}$$

ここで、 $\frac{dl}{dz}$; 密度変化率、 $\frac{du}{dz}$; 流速の変化である。

通常、リチャードソン数は内部フルード数の逆数の2乗に相当する。

$$\begin{aligned} \text{内部フルード数 (Fr)} \\ = (U_2 - U_1) / \sqrt{\epsilon gh} \quad \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

ここに、 $\epsilon = (\rho_0 - \rho_1) / \rho_0$ 、 U_2 、 U_1 および



- 1. 上層流, highest current layer
- 2. 中層流, middle current layer
- 3. 下層流, lowest current layer

図 6 観測結果の一例
Current velocity and temperature fluctuations

ρ_0 , ρ_1 ; 上下層におけるそれぞれの流速および密度で与えられる。したがって、リチャードソン数は、つぎのようになる。

$$Ri = 1/Fr^2 \quad \dots\dots\dots (18)$$

ここで、観測海域のリチャードソン数を内部フルード数から求めた計算例を示す。

$\rho_0 = 1.024$, $\rho_1 = 1.022$, $U_2 = 0.37 \text{ m/s}$, $U_1 = 0.07 \text{ m/s}$, $h = 40 \text{ m}$ とすると、 $Fr = 0.287$ となり、 $Ri \leq 12$ となる。

リチャードソン数を乱れの発達および減衰の判定条件とする場合には、いくつかの限界リチャードソン数が提案されているが、この海域では $Ri = 12$ で十分安定海域であるといえる。

すなわち、図6に示したような流向、流速、水温の乱れは、海面から海底にかけて密度がしだいに大きくなっている流れが、シート型装置によって地形波を生じたための流線の乱れであると推察される。

しかし、図6中の水温では上中下3層の接近は、地形波の変動によるものか、鉛直混合によるものか、今後の観測による必要がある。

今回の観測では対象点がないこと、塩分測定の実必要性、さらにスペクトル解析手法の導入等、今後に残した課題もあるので、昭和55年度の本実験の際には、さらに充実する予定である。

5. 魚 探 調 査

本実海域実験の目的には、第一に流動現象の変動を観測すること、第二に副次的効果として魚群の集積状態を観測することである。

そこで、魚礁効果の観点から、主に魚群探知機および水中テレビによる魚群の分布、集積状態を観測した。

魚探および水中テレビを搭載した調査船(第八仁豊丸)は、シートの両端位置表示用マーカースイッチの間を横切る形で航走した。

観測は昭和54年8月24日、同年9月9日および同年11月9日の3回実施した。

ここで使用した魚探は、株式会社光電製作所製マルチペンSRM-687H型であり、その主要性能を次に示す。

[マルチペンSRM-687H型の仕様]

(1) 測探範囲; ㉠0~5 m, ㉡0~15 m, ㉢0

~30 m, ㉣0~60 m, ㉤0~120 m, ㉥0~240 m

(2) 周波数; 200 kHz

(3) 送受波器; チタン酸バリウム 送受別体モールドタイプ

(4) 送信方式; オールトランジスター送信パルス幅自動可変

(5) 受信方式; スーパーヘテロダイン

(6) 記録方式; マルチペンによる直線記録

(7) 記録式; 湿式150 mm×15 m

(8) 電 源; DC 20~30 V, 約70 VA

また、水中テレビはキュー・アイ製QA-226形であり、その主要性能を次に示す。

[キューアイ製QA-226型仕様]

(1) レンズ; 6.5 mm, F 1.8

(2) 走査線数; 525本

(3) 走査方式; 2:1完全インターレース

(4) 同期方式; 内部同期方式

(5) 走査周波数; 水平15.734 kHz, 垂直60 Hz

(6) 自動感度調節範囲; 100~100,000 lux

(7) S/N; 42 dB以上

(8) 電 源; AC 100 V, 50または60 Hz

シート型装置の設置は、昭和54年8月13日に実施した。

5.1 第1回観測

設置後、11日経過した8月24日に実施した。

図7はそのときの魚探記録を示す。なお、図中“ \Rightarrow ”は流れの方向を示す。

魚群の分布状態は設置後、間もないこともあり、濃い魚影ではない。全般的な魚付きの状態はシートの真上、潮上または潮下にみられ、特にシートの真上、約10 m前後に多く集まっている。

5.2 第2回観測

設置後19日経過した9月1日に実施した。

図8はそのときの魚探記録を示す。

このときの魚群の分布状態は、前回よりも濃い魚影がみられ、魚付きの状態はシートの真上付近、10~25mの範囲に分布し、海底付近にも魚影がみられる。

魚探記録だけでは魚種の判読が困難なので、水中テレビによる観察を実施した。その結果、ブリの小形(30~40 cmくらい)、小魚(イワシらしい?)多数、シマダイの群遊が観察され

た。

5.3 第3回観察

設置後88日(約3箇月)経過した11月9日に実施した。

図9はそのときの魚探記録を示す。

魚群の分布状態は、それほど濃い魚影ではないが、シートの真上約20m前後に分布し、水中テレビによる観察ではシマダイ、ウマヅラハギの群遊が確認でき、前回とは魚類の出現種が異なり、その数はあまり多くはなかった。

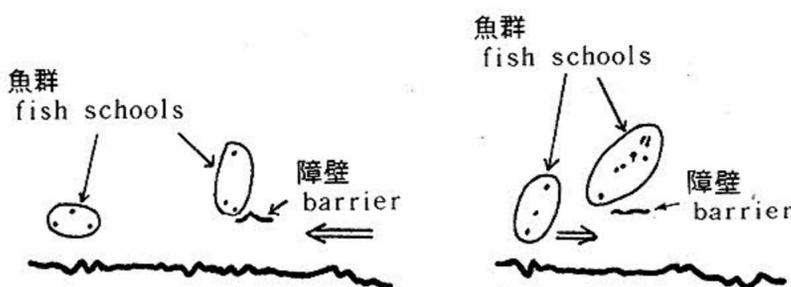


図7 魚探記録(1979年8月24日)
Echo-traces(24. Aug. 1979)

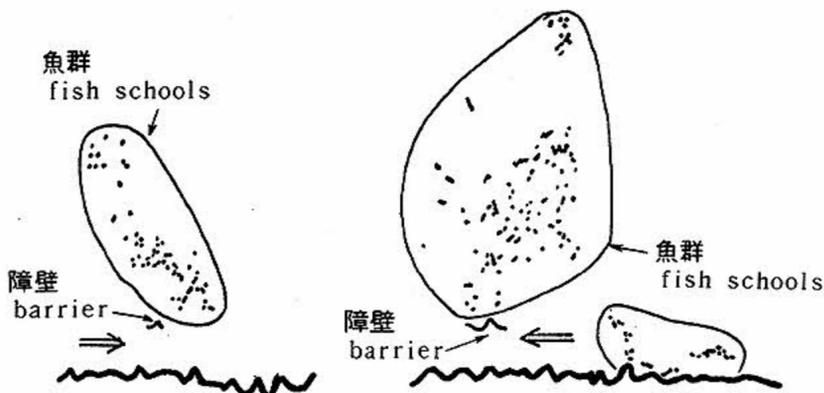


図8 魚探記録(1979年9月9日)
Echo-traces(9. Sep. 1979)

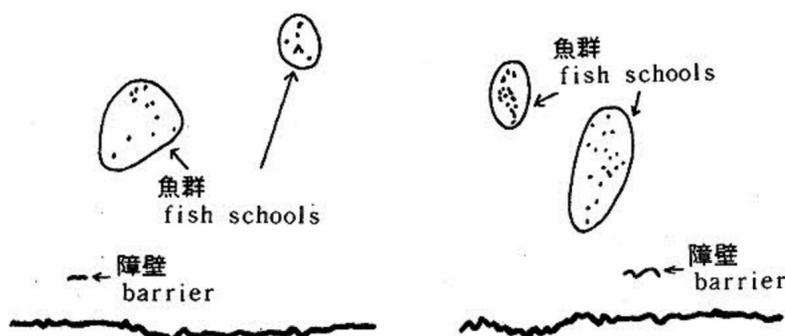


図9 魚探記録(1979年11月9日)
Echo-traces(9. Nov. 1979)

6.まとめ

本実験では、シート材を用いた小型装置を実海域に設置し、シートによる流れの変化状況および魚礁効果の観測を実施した。

その結果、海面から海底にかけて密度が漸次大きくなっている流れが、シートによって地形波を生じたための流線の変動を発生したと思われる。

しかし、対象点がないこと、当該海域の海洋環境の特性把握、解析手法の充実化(スペクトル解析など)など今後に残した課題もあるので、昭和55年度の本実験の際には、より充実した内容で実施する予定である。

なお、魚探および水中テレビによる調査では、魚群の蟄集状況から魚礁となる効果が大きく、いろいろ参考になると思われた。

文献

- 1) 大野健一, 益田善雄, 宮崎武晃ほか, 1979, “湧昇流に関する水槽試験”, JAMSTEC-TR (3) 50-57
- 2) 益田善雄, 宮崎武晃, 高橋健一ほか, 1980, “流れ制御に関するシミュレーション” JAMSTECTR (5)
- 3) 坂本弘志, 森谷優, 有江幹男, 1976a, “乱流境界層におかれたたにぶい物体周辺の流れに関する研究(第1報 垂直平板の抗力)”, 日本機械学会論文集(第2部) 41(342), 526-536
- 4) 坂本弘志, 森谷優, 有江幹男, 1976, “乱流境界層におかれたたにぶい物体周辺の流れに関する研究(第2報 傾斜平板に作用する流体力)”, 日本機械学会論文集(第2部) 41(357), 1442-1451
- 5) 気象庁編, 海洋観測指針(1978), 日本海洋学会
- 6) 山形県水産試験所, “人工礁漁場造成事業調査報告書(昭和52年度)”(1978)
- 7) 中村充, 水産土木学(1979), pp. 508, 工業時事通信社
- 8) “海洋物理 I, (第II編 海面境界過程)”(1971), pp.398, 東海大学出版会