

運輸省港湾技術研究所

=2-2 コレクション

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

資料係
文献複写
禁持出

VOL. 10

10

NO. 3

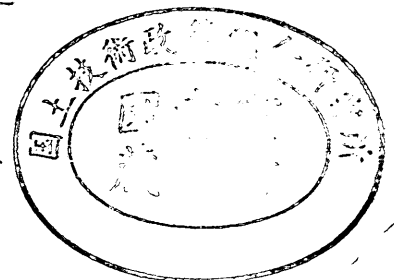
3

SEPT. 1971

MAR.

1971

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告は第7巻第1号より年4回定期的に刊行する。
報告の入手を希望する方は論文番号を明記して港湾技術研究所長に申し込んで下さい。

The Report of the Port and Harbour Research Institute is published quarterly, either in Japanese or in occidental languages. The title and synopsis are given both in Japanese and in occidental languages.

The copies of the Report are distributed to the agencies interested on the basis of mutual exchange of technical publication.

Inquiries relating to the Report should be addressed to the director of the Institute specifying the numbers of papers in concern.



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第10巻 第3号 (Vol. 10, No. 3), 1971年9月 (Sept. 1971)

目 次 (CONTENTS)

1. 来島海峡潮流模型実験 (第1報)
..... 木村久雄・宮原英治・須藤 茂
柴山煒彦・浜田徳一..... 3
(A Model Experiment on a Tidal Current at the Kurushima Strait (1st Report)
..... Hisao KIMURA, Hideharu MIYAHARA, Shigeru SUDO, Akihiko
SHIBAYAMA and Tokuichi HAMADA)
2. クイの負の周面摩擦についての近似計算法..... 沢口正俊..... 67
(Approximate Calculation of Negative Skin Friction of a Pile
..... Masatoshi SAWAGUCHI)
3. 砂質土の現場 CBR と室内 CBR の関係
..... 須田 澁・佐藤勝久・吉田富雄..... 89
(The Relations between Field and Laboratory CBR Values of Sandy Soils
..... Hiroshi SUDA, Katsuhisa SATO and Tomio YOSHIDA)
4. 砂杭を打設した粘性土地盤の挙動
——衣浦港における実験について——..... 木庭宏美・堀江宏保.....135
(Behavior of Cohesive Soil Stratum with Driven Sand Piles
—On the field tests at Port of KINUURA—
..... Hiromi KOBAYASHI and Hiroyasu HORIE)
5. コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察
..... 奥山育英・中井典倫子・久保重美.....159
(Study on Determination of Container Yard Requirements and Container Handling
System..... Yasuhide OKUYAMA, Noriko NAKAI and Shigemi KUBO)
6. 浚渫土質と掘削機構に関する研究 (第1報) 岩田尚生.....237
(Study on the Soil to be Dredged and the Mechanism of an Excavation (The first
report) Hisao IWATA)
7. 超音波斜入射が測深精度と反響記録特性に及ぼす影響について
..... 木原純孝・奥出 律.....265
(Study on Echo-Sounder—Effect of Oblique-Incident Ultrasonic wave on Echo-
Sounding precision and Echo-Recording Characteristics—
..... Sumitaka KIHARA and Tadasu OKUDE)

1. 来島海峡潮流模型実験(第1報)

木村久雄*・宮原英治*・須藤茂*
柴山煒彦**・浜田徳一***

要 旨

この実験は、来島海峡に生じている不規則な急潮流が船舶の航行に支障を与えるため、局部的に発生する渦流を減少させる方法を水理模型実験によって検討する。

今回報告されるものはこの内中水道の南流大潮時に関するものであり、まず現況についてその水理的性質を調べ続いて航路を拡幅改良した場合、潮流の性質の変化その他水理条件を実験的に解明しようとしている。

* 水工部 水理研究室
** 水工部 主任研究官
*** 水工部 水理研究室長

1. A Model Experiment on a Tidel Current at the Kurushima Strait (1st Report)

Hisao KIMURA*

Hideharu MIYAHARA*

Shigeru SUDO*

Akihiko SHIBAYAMA**

Tokuichi HAMADA***

Synopsis

This is a model experiment of the Kurushima Kaikyo of the Japan Inland Sea. This strait is famous for its severe tidal current and large wake eddies induced by the current. To keep the good sea conditions for navigation, the improvement of the hydraulic condition is necessary, and this is urged by the appearance of large-sized ships. The main purpose of this model experiment is to obtain the better scheme of navigable waterway for the near future.

As this strait consists of main two parts. (Naka Suido-central path, Nishi Suido-west path), the experiment is arranged to proceed along the hydraulic phenomena of each path. The present one is concerned to the improvement of the waterway of Naka Suido.

* Member of Hydraulics Laboratory, Hydraulics Division

** Senior Reserch Engineer, Hydraulics Division

*** Chief of Hydraulics Laboratory, Hydraulics Division

85

英文

目 次

2 要 旨	3
1. ま え が き	7
2. 実 験 目 的	7
3. 実 験 条 件	7
3-1 実験に用いた現地の水理量	7
(1) 潮位, 流速	7
(2) 粗度係数	9
3-2 模型における水理量	9
(1) 相 似 性	9
(2) 水位, 流速	10
(3) 粗度係数	11
4. 実験装置および測定方法	12
4-1 実験装置	12
4-2 測定方法	15
5. 実 験	16
5-1 Case 1 現 況	16
5-2 Case 2 Cut 500 m	30
5-3 Case 3 Cut 600 m	42
6. 考 察	55
6-1 実験結果の考察	55
(1) u, v 成分	55
(2) 流速変化	57
(3) 流向変化	57
(4) 鉛直方向の流速分布	63
(5) 乱れについて	63
(6) 要 約	64
6-2 基礎的な事項についての考察	64
(1) 模型計画の立場から	64
(2) 流れの乱れ性質の立場から	64
(3) 模型規模の立場から	65
(4) 模型計測の立場から	65
7. あとがき	65
参 考 文 献	66

1. まえがき

近年における日本経済の飛躍的な発展は、貿易面でも世界の上位にのしあがり輸送ユニットの拡大にともなうて、船舶もますます大型化の傾向を強め、当然のことながら瀬戸内海を出入する船舶にもこの影響が現われ始めた。最近になって、日本で有数の難水路と称される来島海峡を掘削して航路の安全性を高め、より大型船舶の通行を可能とし輸送力を拡大しようとする計画が進められている。

来島海峡は愛媛県今治市の北東部に位置し、島々に囲まれた狭い水路となった海峡であり、東方に燧灘西方には安芸灘が広々とした場をみせている。この海峡は東、中、西の水道が主航路となっておりその内中、西の水道は内海を東西に抜ける船舶が利用し、一方島通いの船は主として東水道を利用しているのが現状である。

海峡の航行は順潮時には中水道を逆潮時には西水道を通るようにあらかじめ海上保安庁水路部によって決定づけられている。これは中水道での最大流速が大潮時で5 m/secを越えることがあり、また小潮時でも約3 m/secときわめて速い上地形の複雑化が潮流にも影響し海峡全域に不規則な流れの現象が生じているためである。加えて航路は屈曲しており見透しが悪く水路幅員が狭い、これらの諸条件が重なって操船者に心理的な不安感を与えている。

来島海峡整備計画にもとづく種々の調査が行なわれ中でも、地質、露頭調査は岩礁部除却工法の決定に役立ち第三港湾建設局で実施された。また航行船舶に与える影響については、神戸商船大学によって実船および模型実験で研究されている。

模型実験の実施にあたっては、まず一般的な手順として現地条件を的確に把握するために現地調査をしなければならない。そこで実験担当するにあたって、現地観測を昭和44年8月、昭和45年2月、昭和45年7月の計3回にわたり潮位、流況等について試験区域内を調査したが、流れの実験で重要な実験要素となる海底地形に多少の疑問が残っている。それは前述したように海峡が不規則な急潮流であるため、また水深が100m近くあるためにこのような深いところでの深浅測量の精度が上げられない。

本報告は今まで実施してきた上記の資料を参考にして海峡に生じている不規則な急潮流を模型上に再現し、局

部的に発生する渦流を減少させる方法を実験的に研究し考察した。

2. 実験目的

来島海峡は前述したように、狭い水路を流れる速い潮流とその周辺の複雑な地形による不規則な流れがはなはだしく、特に中水道は大型船舶の航路であり、利用船舶の航行に支障をきたしている。

現在計画されている渦流緩和対策として水路を拡幅し、同時にムクリ(図-1参照)付近の岩礁を除去して航路の安全性を高める方法を水理模型実験により検討を加えることにした。

この実験は中水道の大潮時の南流に関するものであり、渦流の発生は主として馬島ネズミ鼻付近のムクリから発生する渦流と中渡島西の鼻から形成される渦流が主体である。

南流については中水道の上流側に位置している高瀬の影響はあまりない。したがって、渦流を航路筋から取り除くため、渦流の発生原因と考えられる複雑な平面、海底の地形を改良しなければならない。さらに海峡が整備された場合、航路内の条件はそれに応じて変化するものと考えられる。これらについて実験あるいは基礎的な事項について考察する。

実験の種類としては(図-5参照)

- 1) 現況における不規則な急潮流の水理的性質を調べらる。
- 2) 現況における中水道最狭部の水道幅は約450mであるが、これを拡幅500mおよびムクリを掘削水深-20m、また島のcut勾配を5分にして馬島側を改良する。
- 3) 馬島側の改良は2)に同じであり、新たに中渡島の一部を馬島側のcutを基準にして中渡島寄りに100m延長し、拡幅600mおよび掘削水深-20mさらに島のcut勾配も馬島同様に5分として改良する。

以上1)、2)、3)についての結果を検討する対象水域は、上流側の高瀬付近より馬島の下流側に約300mにわたる全延長1.8kmの範囲としている。

3. 実験条件

3-1 実験に用いた現地の水理量

(1) 潮位、流速

来島海峡の潮流はほぼ南北に流れているため、北方安

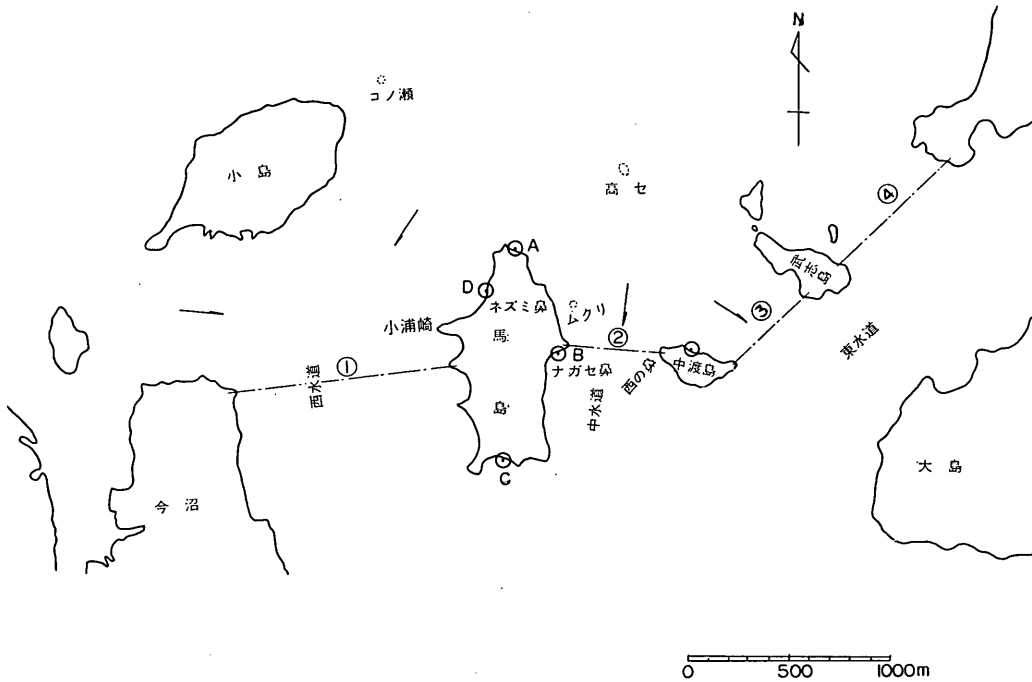


図-1 来島海峡平面図

芸灘より南方燧灘に向かって流れている潮流を来島海峡の南流と称している。

流速を南流と北流について比較してみると、潮流図¹⁾によると南流は北流より大潮時における最強流速が 0.5~1.0 m/sec 速くなっている。また南流は低潮から高潮にかけて起るもので北流は高潮から低潮にかけての現象である。潮汐の周期は約12時間で一日に高潮が2回、低潮が2回ある。

潮位観測²⁾は大潮時を選んで昭和44年8月1, 2日の両日行なわれ、南流最強時において 図-1 に示す位置の潮位を測定した。その結果は 表-1 に示す通りである。各

表-1 潮 位 表

測 点	距 離	潮 位
A	0 m	+1.04 m
B	.530	+0.34
C	1,060	+0.19
D	180	+0.66
中 渡 島	530	+0.83

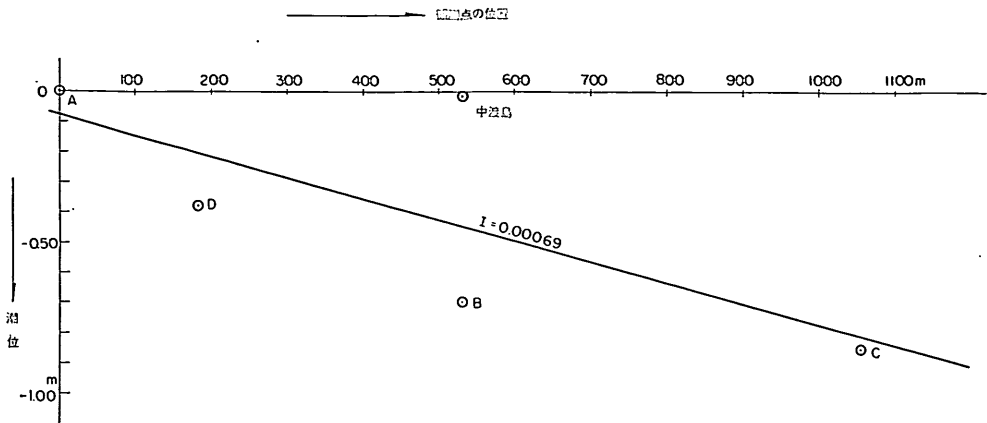
注意 (1) 南流最強時における観測値である
 (2) 距離はA点を基準にしたものである
 (3) 潮位の基準は T.P である

点の潮位を図示すると 図-2 のようになり、A, B, C, D 中渡島の全測点における水面勾配 I を最小自乗法より求めると I は 0.00069 になる。

次に流速は潮流図およびフロート観測 (昭和45年2月9, 10日, 同年7月20, 21日)の測定値をもとにした。中水道表層付近における表面流速をみると、最強流速は水道の最狭部(中渡島西の鼻と馬島ナガセ鼻との間)を流下した付近に生じており流速は 5.0 m/sec となっている。中水道における表面の平均流速はほぼ 3.0~4.0 m/sec である。

また西水道については馬島小浦崎, 小島間に表面最強流速が生じており 3.5 m/sec を示し、西水道における平均流速は 2.0~3.0 m/sec で中水道より 1.0~1.5 m/sec ほど遅くなっている。来島海峡の流量は 図-1 の中にある ①, ②, ③, ④ の各断面について算出したもので 表-2 の通りになる。

表によると、この海峡の流量は南流大潮時毎秒229,300 m³ である。このうち中水道は 93,000 m³/sec, 西水道は 95,300 m³/sec であり、前者と後者はほぼ等しい流量で、二つあわせて全流量の 82% をしめている。このようにほとんどがこの二つの水道に流入していることがわか



- 注 意
 (1) '69 7月29日~8月4日に現地観測を実施したとき、南流最強時における値である。
 (2) 直線はA, B, C, D, 中渡島を相関させたものである。

図-2 南流最強時における水面勾配 I

表-2 来島海峡流量表

断面	断面積	平均流速	流 量
①	12,700 m ²	0.5 m/s	6,400 m ³ /s
②	13,800	2.5	34,500
③	26,600	3.5	93,100
④	38,100	2.5	95,300
計			229,300

注：平均流速は南流最強時における値である

る。

さらに各水道の流況をまとめてみると次のようになる。中水道のA点とB点における水面勾配は、この区間の水平距離は 530m、潮差 0.70m であるから水面勾配は 1/800 である。またB点とC点の間の水面勾配は距離が 530m で潮差が 0.18m であるから水面勾配は 1/3,000 である。BC間がAB間に比べて緩勾配になった理由はC点が島の背後にあることも一つの原因であろう。潮位がB点のそれよりも 0.49m 高いのは、南流が中渡島にはなはだしく圧流するためである。このため中水道にまわって流れる潮流は島を離れる際著しい剝離現象が生じており、来島海峡の他のどの現象にくらべても顕著である。

西水道の幅は中水道の幅にくらべて約2倍広い、このため流れは西水道全体にわたって緩慢である。小浦崎、カンネの鼻をまわる流れについても、中渡島の剝離流は

ど大きな剝離現象はみられない。

(2) 粗度係数

中水道最狭部は径深 $R=45,1$ m, 水面勾配 $I=0.00069$ であり、Manning の粗度係数 n を Manning 平均流速公式 $V=(1/n)R^{2/3}I^{1/3}$ より算出すると、平均流速 $V=3.0 \sim 4.0$ m/sec であるから $n=0.11 \sim 0.09$ となる。したがって中水道最狭部付近の粗度係数は $n=0.10$ とする。

3-2 模型における水理量

(1) 相似性

海峡の模型実験について主に働いている力を考えると慣性力、重力、粘性力などがある。いまこれらの模型に作用している力が、それに相応する現地の力のたとえに相似であるためには、作用している力の比が一定でなければならない。

たとえば、慣性力と重力の2力を同じに相似させる場合、模型のフルード数 Fr と現地の Fr を一致させるとよい。これはフルードの相似則といわれる。また粘性力と慣性力の2力を同時に相似させる場合、模型と現地のレイノルズ数 Re を一致させればよい。これはレイノルズの相似則といわれる。しかしフルードの相似則とレイノルズの相似則を同時に満足させることはできない。このため模型実験の目的から有効な方法を取りあげる必要がある。

この模型実験を例にとると、現地のレイノルズ数は流速および径深が非常に大きいため、中水道では $Re=10^5$ の値をとる。一方模型では 1/300 の縮率にしたところで

$Re=3 \times 10^4$ の値を示す程度にとどまる。このように方法を変えない限りは Re をあわせることは困難である。一方フルード数は流速と水深の平方根とが比例関係にあるようにすれば現地と模型の Fr をたやすく一致させることができる。この模型実験では現地と模型のフルード数はともに $Fr=0.20$ であり 1 よりはるかに小さい。

次にこの模型実験では海底面に作用している摩擦抵抗力が重要な力となっている。これは現地と模型の粗度要素に関連しているもので、したがってこの模型でも粗度要素に対する検討も必要になってくる。以上より慣性力、重力、摩擦抵抗力などの関係式である不等流の運動方程式を用いると、流速、水面勾配、粗度などの縮率を求めることができる。

まず不等流の運動方程式を (1) とすると

$$I=i-\frac{dH}{dX}=\frac{1}{2g}\frac{dV^2}{dX}+\frac{V^2}{C^2R} \quad (1)$$

V : 平均流速

I : 水面勾配

H : 水深

X : 水平距離

g : 重力加速度

C : Chézy 係数

R : 径深

となる。

次に模型 (model) の suffix を m , 現地 (prototype) の suffix を p とすると (1) 式の諸元の縮率を次のように表わす。

$$\begin{aligned} h &= \frac{H_p}{H_m} = 250 \\ x &= \frac{X_p}{X_m} = 300 \\ i &= \frac{i_p}{i_m} \\ I &= \frac{I_p}{I_m} \quad (2) \\ v &= \frac{V_p}{V_m} \\ c &= \frac{C_p}{C_m} \\ r &= \frac{R_p}{R_m} \end{aligned}$$

(1) 式より模型における運動の方程式は

$$I_m=i_m-\frac{dH_m}{dX_m}=\frac{1}{2g}\frac{dV_m^2}{dX_m}+\frac{V_m^2}{C_m^2R_m} \quad (3)$$

となり、同様に現地における運動方程式は

$$I_p=i_p-\frac{dH_p}{dX_p}=\frac{1}{2g}\frac{dV_p^2}{dX_p}+\frac{V_p^2}{C_p^2R_p} \quad (4)$$

したがって (2) 式を現地の方程式 (4) に代入すると、

$$II_m=ii_m-\frac{h}{x}\frac{dH_m}{dX_m}=\frac{1}{2g}\frac{v^2}{x}\frac{dV_m^2}{dX_m}+\frac{v^2}{c^2r}\frac{V_m^2}{C_m^2R_m} \quad (5)$$

となり (5) 式が模型の運動方程式に等しくなる条件は

$$I=i=\frac{h}{x}=\frac{v^2}{x}=\frac{v^2}{c^2r} \quad (6)$$

でなければならない。さて (6) 式の $h/x=v^2/x$ より

$$v=h^{1/2} \quad \text{あるいは} \quad \frac{H_p}{H_m}=\frac{V_p^2}{V_m^2} \quad (7)$$

(7) 式を変形すると

$$\begin{aligned} \frac{V_m^2}{H_m} &= \frac{V_p^2}{H_p} \\ \frac{V_m^2}{gH_m} &= \frac{V_p^2}{gH_p} = Fr^2 \end{aligned}$$

となり、よって (7) 式はフルードの相似則でもある。次に同じく (6) 式の $v^2/x=v^2/c^2r$ の条件をみると、径深の比を $r=h$ とすれば

$$c=\left(\frac{x}{h}\right)^{1/2} \quad \text{あるいは} \quad \frac{C_m}{C_p}=\left(\frac{X_p}{X_m}\right)^{1/2}\left(\frac{H_m}{H_p}\right)^{1/2} \quad (8)$$

となり、これは摩擦損失についての相似を表す式である。次に平均流速公式を Manning の式を用い、(8) 式の Chézy 係数 C_m を Manning の粗度係数 n_m に換算すると

$$\begin{aligned} n_m &= \frac{1}{C_m} R_m^{1/6} \\ &= \frac{1}{C_p} R_p^{1/6} \cdot \frac{c}{r^{1/6}} \\ &= n_p \frac{x^{1/2}}{h^{2/3}} \quad (9) \end{aligned}$$

となる。

(2) 水位、流速

模型の縮尺は後述のとおり水平方向 1/300、垂直方向 1/250 である。したがって模型上の Λ, B, C, D および中渡島をむすぶ水面勾配 I_m は歪模型のために、

$$\begin{aligned} I_m &= \frac{x}{h} \times I_p \\ &= \frac{300}{250} \times 0.00069 \\ &= 0.0008 \end{aligned}$$

となる。次に流速は (7) 式により

$$V_m = \frac{V_p}{\sqrt{h}}$$

$$= \frac{V_p}{\sqrt{250}}$$

$$= 0.0633 V_p$$

となり、たとえば中水道の最も早い流速 $V_p=5.0$ m/sec は $V_m=32$ cm/sec, 平均流速 $V_p=3.0\sim 4.0$ m/sec は $V_m=19\sim 25$ cm/s となる。西水道については最大流速 $V_p=3.5$ m/sec が模型では $V_m=22$ cm/sec, 平均流速が $V_p=2.0\sim 3.0$ m/sec であるから $V_m=13\sim 19$ cm/sec である。

現地の単位時間当りの流量は $Q_p=229.300$ m³/sec であるから、模型では $Q_m=0.193$ m³/sec となる。このうち主な水道、中水道へは 0.08 m³/sec, 西水道へは同じく 0.08 m³/sec 流れこんでいる。

(3) 粗度係数

現地の粗度係数 n_p を模型の粗度係数 n_m に換算するのは(9)式を用いる。

$$n_m = n_p \frac{x^{1/3}}{h^{2/3}}$$

$$= n_p \frac{300^{1/3}}{250^{2/3}}$$

$$= 0.435 n_p$$

となる。例えば中水道の最狭部では $n_p=0.10$ であるから $n_m=0.04$ となる。これは Manning 粗度の計算式の性質から $n_p=0.10$ という過大な値になった。

水理公式集³⁾によると水路の壁面をモルタル仕上げをした場合、この模型の形状抵抗も考慮して粗度係数は 0.02 程度と推定される。これに対して現地から換算された粗度係数は 0.04 であるため残りの $0.04-0.02=0.02$ に相当する粗度は人工粗度によらなければならない。人工粗度の形状は W.E.S. の実験データ⁴⁾をもとにして定めている。

W.E.S. の報告書は粗度要素のいろいろな型によって、矩形断面の一樣水路により実験された結果がまとめられている。報告書の中で特に粗度を 図-3 のように千鳥状に配置された部分のデータを用い、最小2乗法によって整理し、一つの試算式を求めこの式を用いることとした。ただし同式中の α は $5.5 > \alpha > 1.3$ の範囲内にあるものとする。(今後はその後の実験結果を用い、さらに改良の必要があろう。)

試算式は次のようになる。

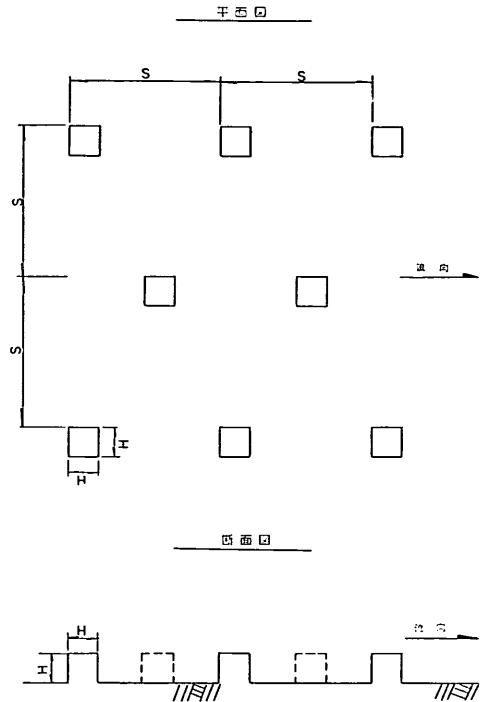


図-3 人工粗度の形状

$$\frac{U}{U_*} = \frac{C}{g^{1/2}} = \frac{R^{1/6}}{n} \frac{1}{g^{1/2}} = (0.8512 + 0.18137\alpha)$$

$$+ (10.009 - 0.29302\alpha) \log_{10} \frac{R}{H}$$

(単位: m · sec)

ここに U : 平均流速

U_* : 水路潤辺の平均摩擦速度 $= \sqrt{\tau_0/\rho} = \sqrt{gRI}$
 (τ_0 : 潤辺の平均せん断応力, ρ : 流水の密度)

g : 重力加速度

R : 径深 $= A/P$ (A : 断面積, P : 潤辺)

C : Chézy 係数 $= \sqrt{g} U/U_*$

n : Manning の粗度係数 $= R^{1/6}/C$

α : spacing-height ratio $= S/H$ (S : 粗度の間隔, H : 粗度の高さ, ただし粗度は立方体とする, 図-3 参照)

上式を図に表現したのが 図-4 である。

この図の利用方法は、まず Manning の粗度係数 n が決まると $R^{1/6}/ng^{1/2}$ が計算できる。次に α と R/H を変数として図より求めると粗度の大きさ H とその間隔 S が求められる。

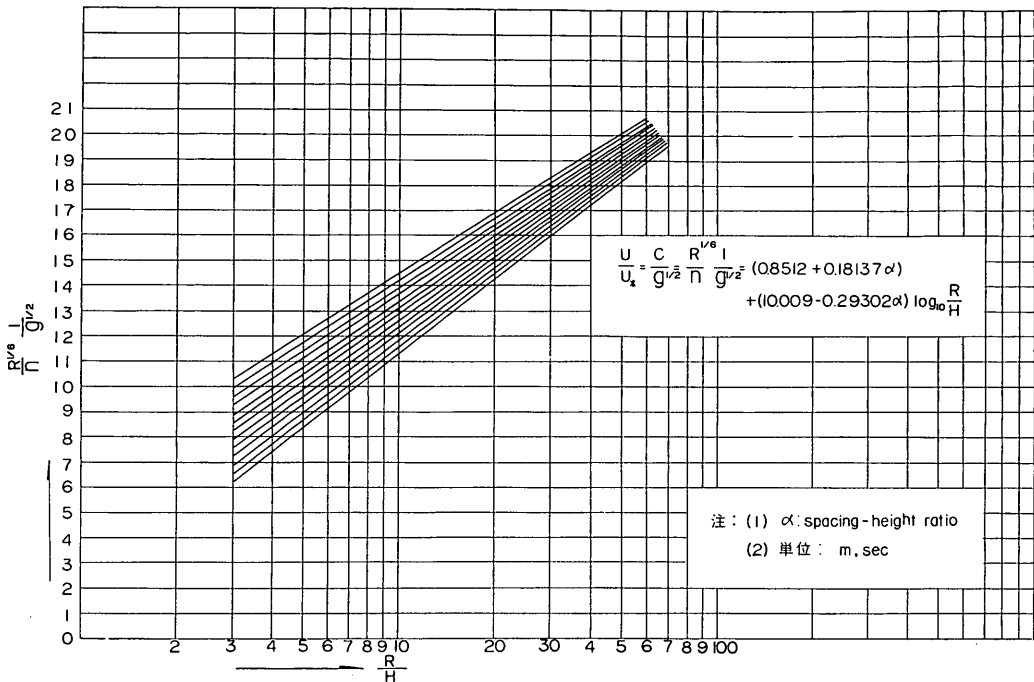


図-4 粗度の算出曲線

表-3 水深別による人工粗度の大きさ

水深	H	S
0.10 m	0.04 m	0.22 m
0.20	0.05	0.20
0.30	0.06	0.21
0.40	0.06	0.19
0.50	0.07	0.22
0.60	0.07	0.19
平均		
0.18	0.05	0.19

表-3 は粗度の間隔 S をほぼ 20 cm としたとき、水深別に粗度の大きさを求めたものである。このようにして求められた人工粗度の大きさの決定は幅 0.3 m および 0.6 m の矩形断面の一様水路の等流による実験結果を基礎とするものであるため、実際の使用にあたってはさらに試行による調整を必要とする。

4. 実験装置および測定方法

4-1 実験装置

この実験に用いられた平面模型は当研究所備付の廻流装置を有する平面水槽 (16.5 m × 11.5 m) に設置されて

いる。

実験用水の供給は循環式であり、用水は低水槽より高水槽へ電動機に直結させた 300 耗立形固定翼軸流ポンプよりポンプアップされ、これより給水管 (φ 300 mm) を通って樋頭水槽に送られ、さらに模型内を流れて低水槽へ還元する。

流量調整は給水管制御弁の開閉によって行ない。流量の検定は樋頭水槽内に取り付けられている幅 80 cm 矩形鋭縁量水堰を用い、堰の上流 80 cm の所に設けられた精度 1 mm のネオン管式水位計により行なった。

この実験においては流量が 193 l/sec と大きく樋頭水槽内の越流水深測定箇所においても最大 ±2 mm の水位変動がみられるため流量に換算すると ±2 l/sec となり最大 2% 程度の流量の誤差となる。

この実験ではさらに正確を期するため平面水槽の図-5 に示す一隅に小さな水孔で模型と連結する水位測定用の小水域を設け、その水位をネオン管式水位計により精度 1 mm で測定し、模型内の流量および水位がすべての実験において同一状態に保たれるように試みている。さらに各実験に際しては、流量の第一回の制御が終了した後、約 1 時間の余裕をおいて実験用水がほぼ完全に定常の循環を行なうようにしてから第 2 回目の流量の測定、調整

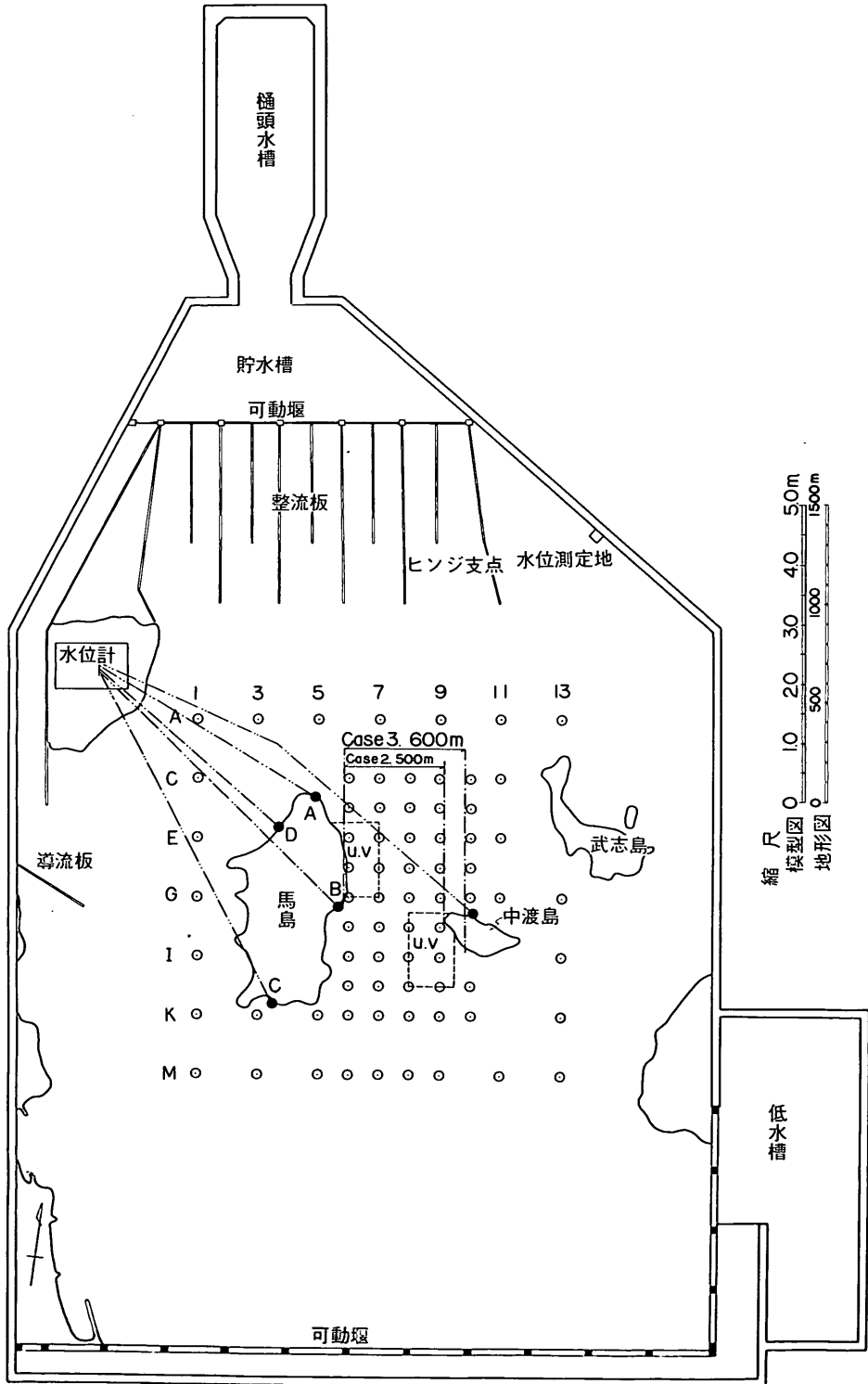


図-5 模型全般図

を行ない各種の測定を行なっている。

模型の縮尺を決定する条件としては、現地における流量および実験装置の流量容積等を考えなければならない。そこで前述のように 図-1 に示した位置の各断面の流量を求め現地流量 $229,300\text{ m}^3/\text{sec}$ を決定し、記述の実験装置における流量との関係より垂直縮尺は $1/250$ と決定した。

また水平縮尺は模型内に取り入れる試験区域が容易に現地の状況を再現できるように上流、下流側および西水道、東水道の対称外の区域も取り入れ、さらに馬島ネズミ鼻付近のムクリ地点の浅部より発生する乱流域また中水道の中渡島から形成される後流の領域等を十分に考慮して、水平縮尺を $1/300$ と決定した。

模型に使用した海底地形は水深 40 m まで、昭和41年に第三港湾建設局が行なった浅深図をもとにし、また 40 m 以深は海図をもとにして決定した。また海底面の作製は防水モルタル 3 cm 厚の上にホワイトセメント 2 cm 厚に塗り表面を刷毛により仕上げた模型を製作した。模型の海底面にホワイトセメントを用いた理由は今回の模型実験における流れは複雑であり、水深別の流れの動きの観察および写真撮影の場合便利と考えたからである。

前述したように模型における粗度は現地のそれから換算して 0.04 であり、模型上に粗度要素を設置するにあたっては今までの模型実験における経験と W.E.S. における実験資料等を参考にし、粗度要素間隔 S を一定に取り、径深の変化に対しては粗度要素の体積でもって調整を行なっている。また、模型上の海底面にホワイトセメントをもって立方体の粗度要素を施し、その後は試行により調整をした。

模型上の流れは樋頭水槽より流れ出た水を模型内の各方向に分配しやすいよう 図-5 に示されている貯水槽に一時貯水し、そこで約 1 m 間隔で区切られた四角堰で調整することにより各方向の流量を定めた。さらに四角堰の模型側に 50 cm 間隔で水面に垂直な整流板（長さ $2.0\text{ m} \times$ 高さ 90 cm ）および四角堰より 1 m 下流点で各整流板間に取り付けられた $\#2\text{ mm}$ の金網により流れは整流されている。また整流板先端にヒンジ状に取り付けられた板の向きを変えることによって流れの方向を調節できるようにしている。

整流板設置箇所の底面と模型海底面との接続部の形状は異なっているため、接続部は直径 5 cm 程度の石を置くことによって海底面を円滑な状態に仕上げている。

模型上に流入する測点 A-7 で最大振幅 8 mm の水位変動がみられ、これを現地に換算すると 2 m の水位変動となる。しかし現地においてはこのような大きな水位変動はみられず実験に支障をきたすものと思われるので整流板に直角に水面下 5 mm 位にもぐるような板を各整流板に取り付け、さらに整流板先端において幅 50 cm 、長さ 800 cm 、厚さ 2 cm の板を、流れに垂直方向に浮かせ、最大振幅 2 mm 程度の水位変動におさえている。

小島と来島間の来島瀬戸から西水道に流入する流れは 図-5 に示す水路を用い、その流出口に取り付けられた導流板で馬島ウス鼻付近および馬島後流水域の流れが調整されている。これは現地において来島瀬戸からの流れは南流大潮時の現地観測によると、馬島寄りに流れが集中する様相を示した結果によるものである。したがって中水道における馬島側の後流にも影響があるものと考えられるので記述の導流板を設けている。

次にこの実験における水位および馬島、中渡島下流水域の流況を調整するため 図-5 に示す範囲に 1 m 間隔で可動堰を設置している。

この模型に用いている水位の基準面は現地における M.W.L. とし、この堰の基準も同じく、M.W.L. より $\pm 15\text{ cm}$ の可動範囲があり、堰板に取り付けられたボルトによって調整が出来る。特に中渡島および東水道の下流部は水深が大きく、この堰の部分でも M.W.L. より約 30 cm 下部が海底地形であり記述の堰の可動だけでは調整ができないため、堰板に $\phi 250\text{ mm}$ の孔を設けバルブにより調整した。また下流水域のアプローチが十分でないため中水道の流れは直進する傾向が強く、現地の状況とは異った現象となるので堰の調整にあたっては馬島寄りの水位を高く、中渡島から東水道の大島間は極力水位を低くし、下流水域の流線を現地の状況と合せるように努力した。

今回の実験は渦流、後流など複雑な流れを対称としていたため過去の模型実験に使用した模型内に測定用の足場を設ける方法では流れに支障をきたすものと考えられる。したがって水槽の幅をスパンとする電動測定台車を製作し、流れに影響を及ぼすことをさける方法を試みている。この電動測定台車は本体が $\phi 200\text{ mm}$ 、厚さ 10 mm の2本の鋼管で支持され幅 90 cm で作業が容易にできる構造としている。なお電動測定台車を走行させるため水槽側壁に平行に軌条部を設けている。

電動測定台車の制御は台車末端2ヶ所に可動輪2連とし、その一輪を動力輪とし、 $1/4\text{ HP}$ 減速付電動機を2台

装備し 4.5cm/sec の速さで走行することができる。運転は台車上部3箇所に設置した鉄箱に走行用スイッチを取り付け、前進、後進、停止を手動で行なうようになっている。

4-2 測定方法

この実験における測定事項は

- i) 水位
- ii) 平均流速
- iii) 水平方向可変のプロペラ流速計による平均流向および流向変動幅
- iv) 流線
- v) フロートを流下させた場合の写真撮影
- vi) プロペラ流速計による変動流速

以上についての結果を検討する。

水位測定は図-5 に示す A, B, C, D および中渡島の5点に銅パイプ (φ10mm) を埋込み極力静圧のみを取り出すよう開口部の形状に注意した。それを小島に設けている傾斜マンノメータに各々の銅パイプを直結させ、φ6mm のガラス管マンノメータを水平面より60度傾け水位を読み取っている。

平均流速、流向の測定は全般的な流れの傾向を把握するため 図-5 に示す○印の全点にわたって測定し、水深別には 2, 4, 12cm (現地換算では 5, 10, 30m) 点の測定を行なった。

またこれらの点のうち A-7, D-9, F-8, H-8, J-7.8, M-8 において鉛直方向の流速分布をより正確に求めるため表層より底層に 2cm 間隔で測定を行なっている。第2章に述べられた地形改良により最も影響を受けるものとみなされる 図-5 の図中に示された水域では水表面下 2, 12cm 点の平均流速、流向を流下方向に 25cm 間隔、流下方向に直角に 5cm 間隔で測定を行ない地形改良による流れの変化を詳しく調べるよう努力した。流速、流向の測定器は 写真-1 に示す当研究所において開発された室内用の水平全方向流速計である。

この流速計は外径 25mm の4枚の亚克力製プロペラを宝石入りの軸受けで支持したもので、回転数は4枚の羽根に取り付けられた magnet と流速計支持棒先端にある Sony Magnet Diodos との遠近運動によって電流変化を起させパルス信号としたもので、1回転に付き4パルスの信号を発生する³⁾。1秒間のパルス数 N と1秒間の平均流速 V との関係は次の通りである。いずれも測定可能範囲は $100\text{cm/sec} \geq V \geq 3\text{cm/sec}$ である。

$$\text{No. 1 } V=0.800N+2.88$$

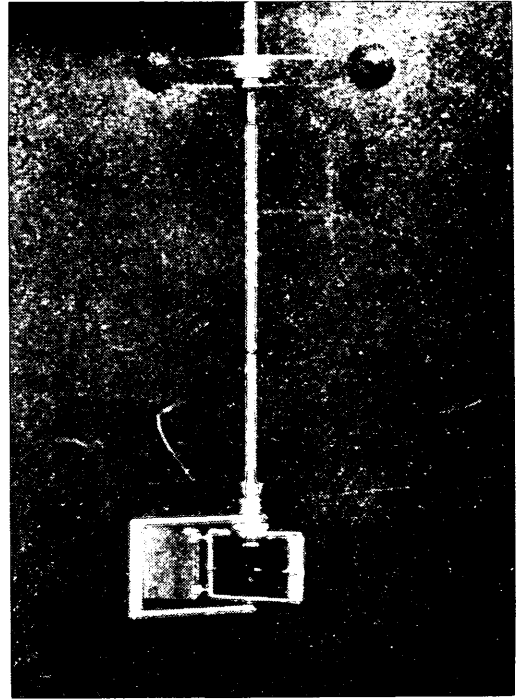


写真-1 室内用水平全方向型流速計

$$\text{No. 2 } V=0.848N+0.90$$

$$\text{No. 3 } V=0.870N+2.20$$

$$\text{No. 4 } V=0.880N+1.80$$

$$\text{No. 5 } V=0.853N+1.30$$

$$\text{No. 6 } V=0.914N+0.90$$

したがって、これらの器種を電動測定台車に取り付け、各測定点における水深別の測定水深に合せて流速、流向を測定した。

測定方法は前述した流速計のパルス信号をユニバーサルカウンタにより連続10秒間のパルス数を記録させ、流向の変動に応じて測定的时间範囲を5~10回とし、その平均値を N と V の関係式から流速に換算して平均流速としている。

平均流向および流向変動幅は流速計の可変部に取り付けられている尾翼の振れを分度器(流速計の上部に設置)を用いて目視により測定した。また順流と反流との境界域および微流速水域においては過マンガン酸カリ水溶液を流し流速、流向のチェックを行なっている。

表面流線の測定にあたっては過マンガン酸カリ水溶液を用い電動測定台車より模型底面に印した各測定の表面にスポイトから投液をし、その作成は測点より次の測点

までの間隔を数回行なってその区間の流線とし、この方法を繰り返すことによって流線図を作成している。

模型全般および主要部の流況観測にはプラスチック製の球形フロート(φ5, 10, 20 mm)、紙片(10×10 mm)および過マンガン酸カリ水溶液を流し、これらを8mmカメラにより撮影を行なっている。

プロペラ流速計による変動流速測定は、測点 A-7, H-8, M-8 の3ヶ所で水面下4, 12cmの水深における連続10分間の流速変動をペン書オシログラフに記録させ、それを用いて解析を行なった。なおこの解析の結果は別の機会に発表する予定である。

5. 実 験

本実験に先立って前述した模型上に現地の現象を再現

させるため、特に改良を施す水域に重点を置いて順流域、反流域、渦流域、流れの分岐点等の流速、流向、水位の3点にしぼり、これらを検証する予備実験を行なった。すなわち、模型上に定められた流量を流し試験区域が現地の現象に近づくまで上流側の整流板および下流側の可動堰によって調整している。

そして最終的に現地の現象にほぼ一致したので実験を進めることにした。

5-1 Case 1 現況

安芸灘より来島海峡に流入する流れは、図-6に示す如く地形にしたがって流れる性質がある模様である。すなわち、中水道における流線は海底地形に似た傾向をみせており、水深の大きいところは蛇行しほぼ水深にしたがう流況を示し、中水道の最狭部に流れは集中してい

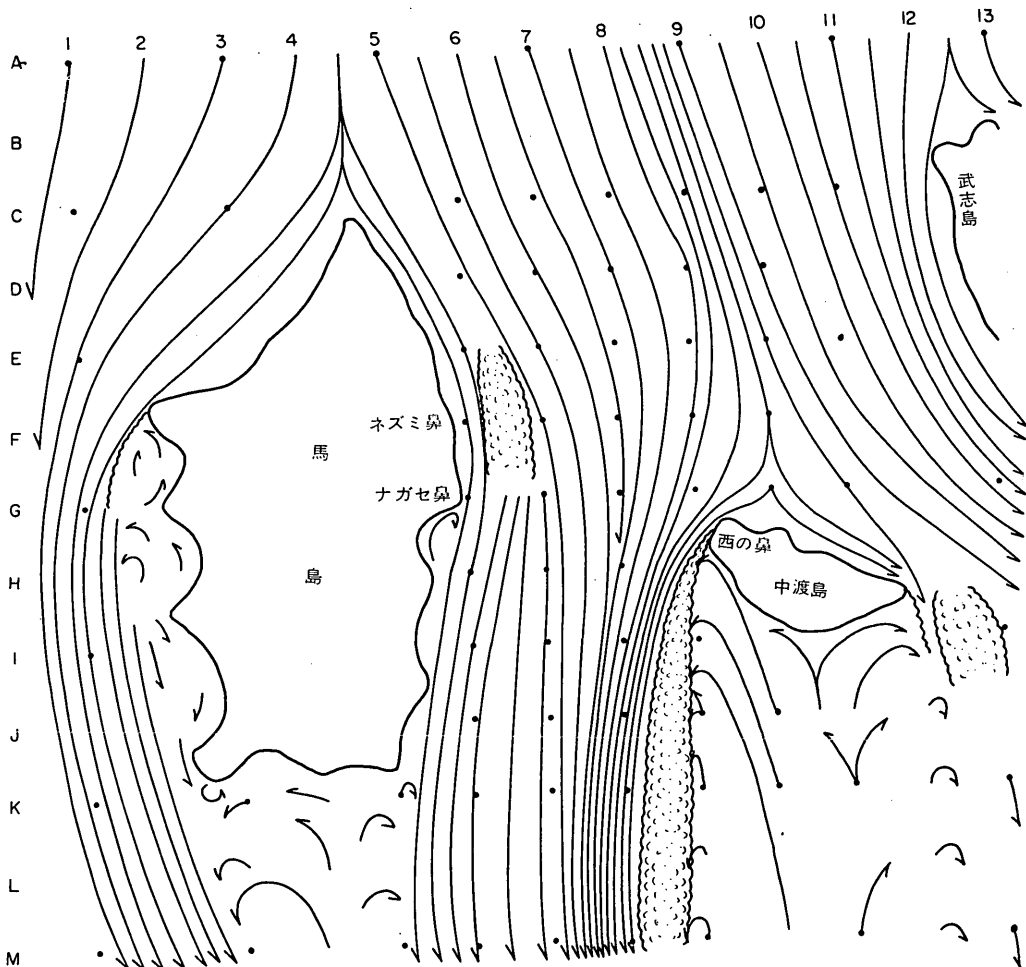
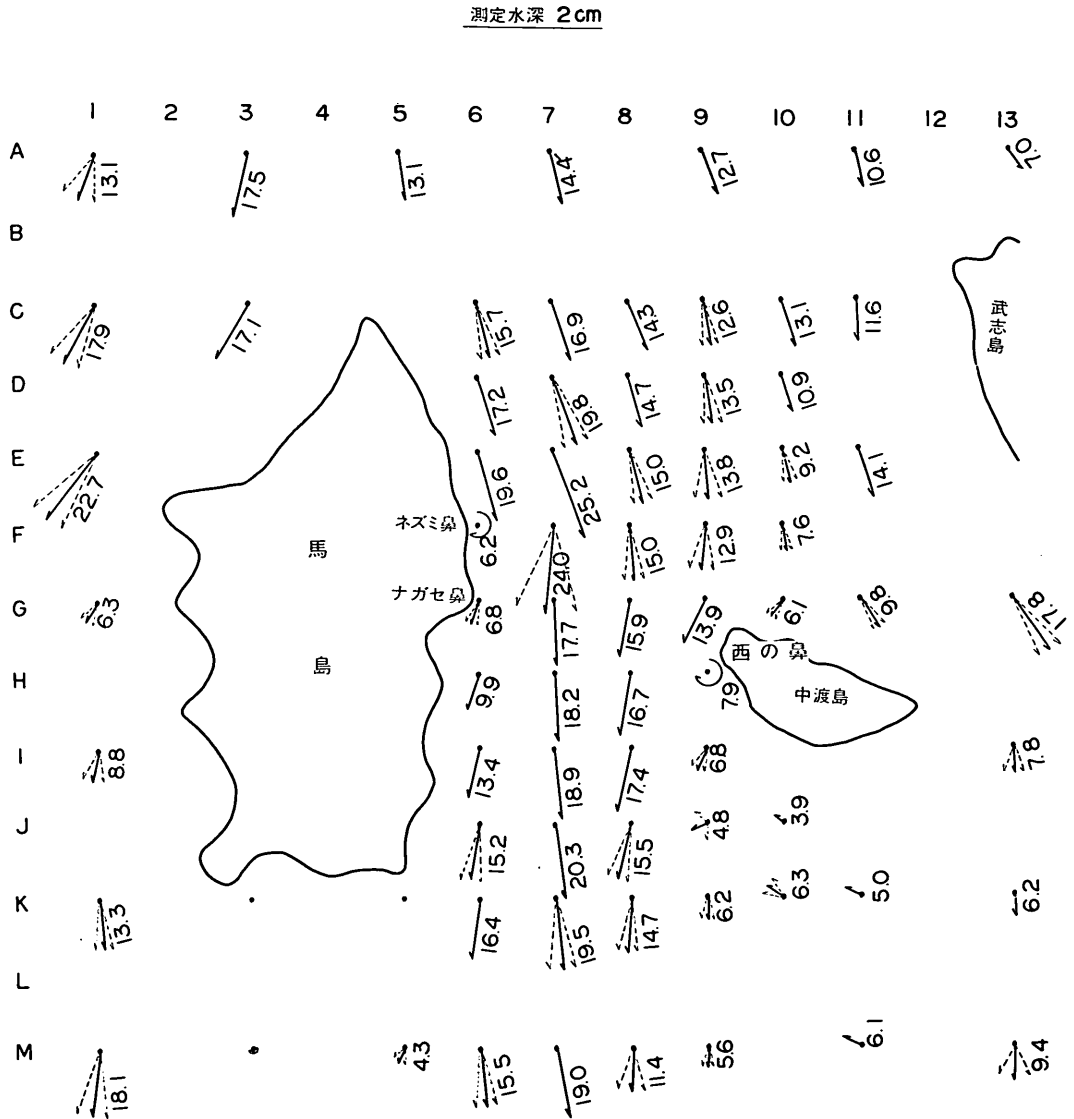


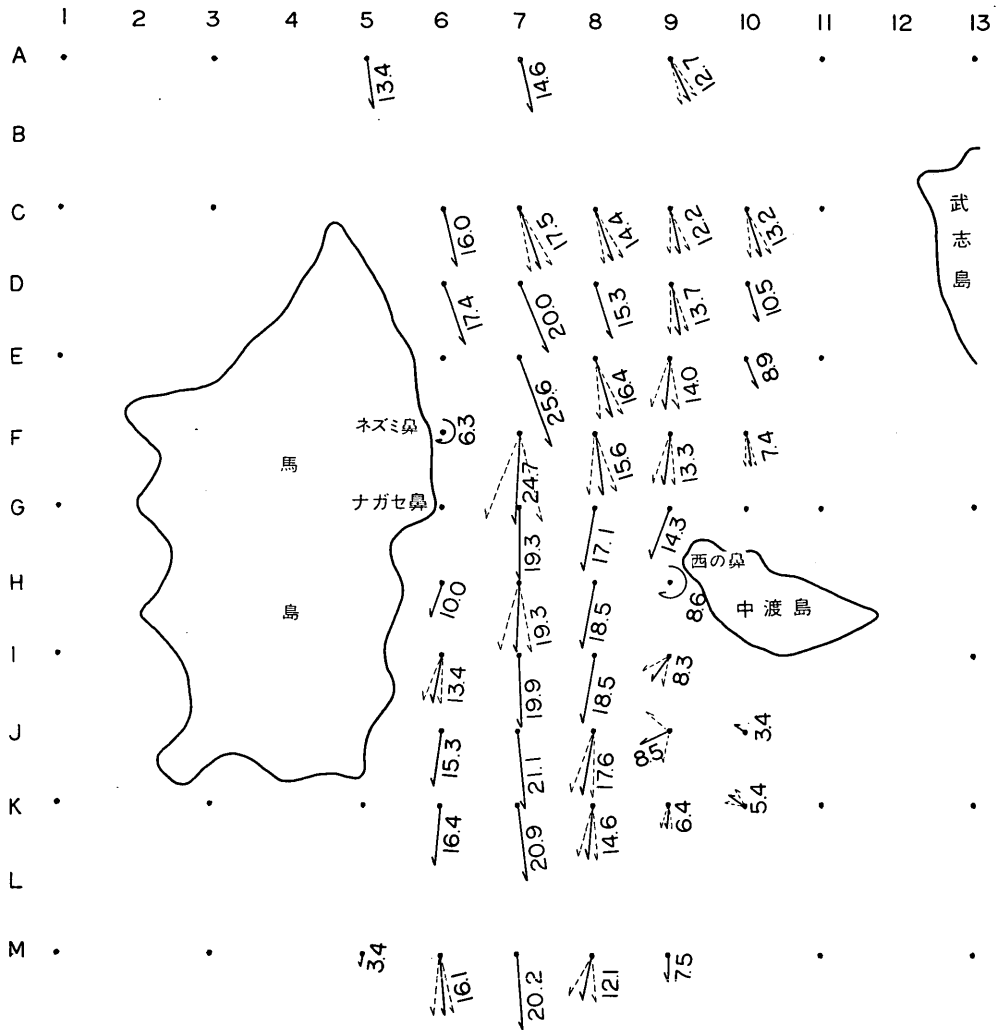
図-6 流線図 (Case 1)



注：1. 数字は模型上の値で cm/sec である。
 2. 現地換算をするには 15.8 倍すればよい。

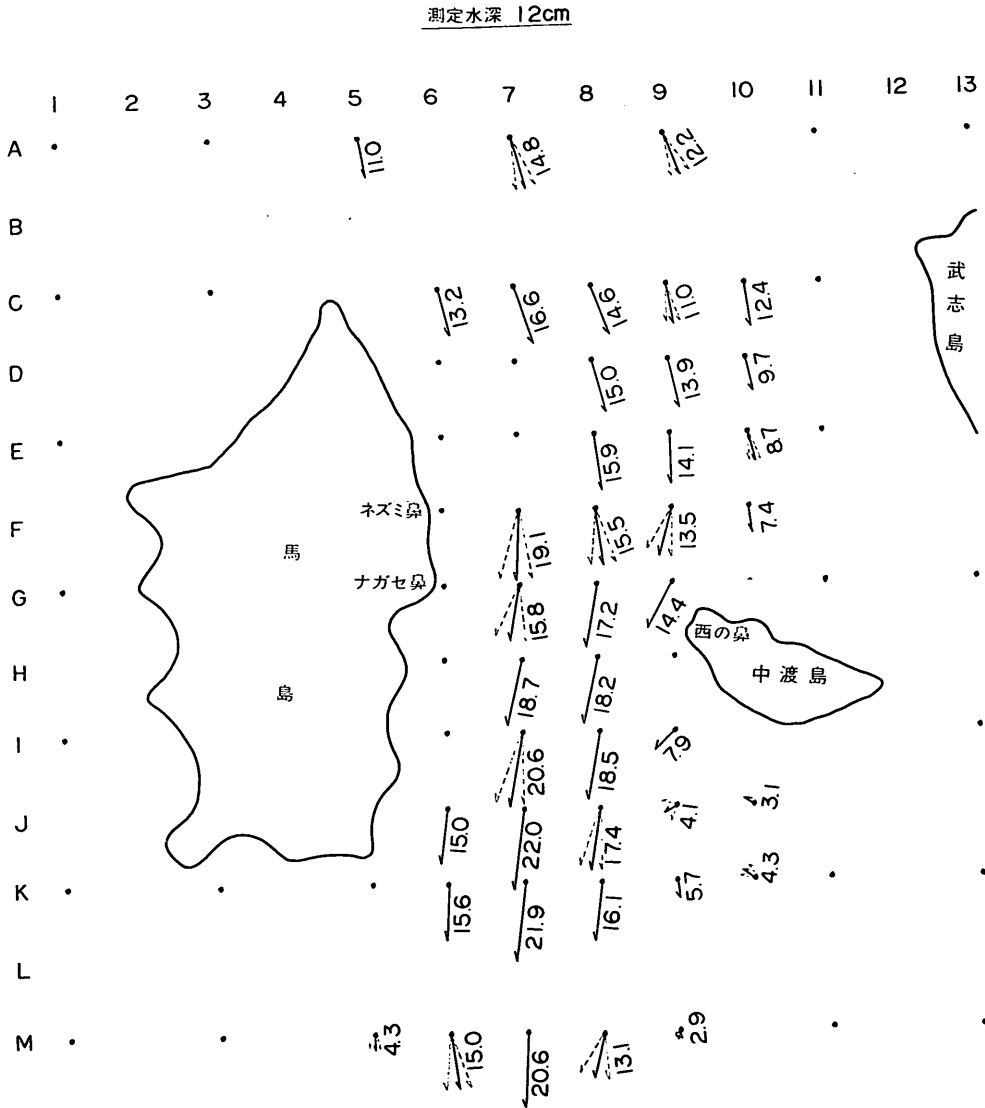
図-7.1 流速流向ベクトル表示図 (case 1)

測定水深 4 cm



注：1. 数字は模型上の値で cm/sec である。
 2. 現地換算をするには 15.8 倍すればよい。

図-7.2 流速流向ベクトル表示図 (case 1)



注：1. 数字は模型上の値で cm/sec である。
 2. 現地換算をするには 15.8 倍すればよい。
 図-7.3 流速流向ベクトル表示図 (case 1)

る。馬島ネズミ鼻付近のムクリ地点より発生する乱流域は複雑な様相を示し、また中渡島西の鼻より形成される後流の領域とともに航路幅を狭めている。

この現象が中水道において操船上の問題点となっている。特に中渡島西の鼻より発生する wake によって生ずる乱流域は広い範囲のものであり、島の背後にも順流にくらべかなり弱い流れであるが複雑な反流域が現われている。また馬島背後にも中渡島ほど広い範囲ではないが反流域が生じている。

水面下 2 cm, 4 cm, 12 cm の各測定水深における流速、流向のベクトル表示を 図-7 に示している。太線は平均流向を点線は水平方向の変動幅が 20° を越した場合とした。また曲線は変動範囲が 360° を示し、添字は模型における流速 cm/sec の値を表している。

試験区域内の流況は、全般的に各々の測定水深とも 7 line が速くなる傾向をみせており、これは後述するがネズミ鼻付近に生じた強い流れがそのまま直進するためであろう。

馬島沿いに流入する流れは、ネズミ鼻付近のムクリ地点において流れが分岐し、E-7 で 25 cm/sec の大きい流速を与えながら水道中央に進む流れと、岸よりの流れは馬島地形に沿って流れ下流にしたがうにつれ流速は次第に増加する傾向があるが、7 line の流速には達していない。

次に中渡島上流側における水域での流れの分岐点は F-10 および G-10 に位置している。

分岐した流れの一つは、中渡島および武志島の間を通り抜け東水道に合流し、他の一つの流れは中渡島西の鼻に集中している。

H 線上の中水道における最狭部の流れは、断面の急激な変化ともなって中心部の H-7, 8 では各測定水深において流速の増加が著しく現われている。また中水道の最狭部を通過した流れは、次第に加速され J-7 で測定水深の平均で約 21 cm/sec の最大流速を示している。

その後の流速は減少しながら屈曲した海底地形に沿って流れ去る模様である。特に中渡島西の鼻より形成される後流の領域に入っている 8~9 line の流況は、順流および反流の境界も絶えず変動し、定常的な状態としての流向を知ることは非常に困難である。馬島の背後はほとんど死水域に近く複雑な様相を示しているが、中渡島の背後のそれは 図-6 から観察されるように広い範囲の反流域を形成している。しかし、流れそのものは順流にくらべ非常に微弱なものである。

試験区域外の西水道および東水道（中渡島、武志島間を含む）の測定は、前述したように中水道における島の後流を模型上に再現するためのアプローチとして模型に取り入れたので、この水域では測定水深 2 cm の流速、流向の測定のみ行なっている。したがって、西水道および東水道の測定結果は参考程度のものであり、流向はほぼ現地と一致しているように調整されているが、流速については多少の差異のあることは止むを得ない。

流速鉛直分布の測定は、試験区域内の水深が大きいところおよび流れの変化が著しい箇所 7 点を選び 図-8 に示している。

流入地点 A-7 で中層付近における測定値の散乱は、模型に流入するために設けている整流装置が、この測点において完全に整流されずに入ってきていることも一つの原因と考えられる。流速分布は表層よりも中層付近が多少速くなる傾向を示している。これは流入側における整流板の先端に水面変動防止板を設けているのが、表層流を多少妨害しているかも知れない。流向は水深各層において左寄りの傾向を示している。

D-9 においては、A-7 でみられた測定値の散乱は消えているが、底層付近で流速に差異が生じている。流向は表層より底層にかけて次第に左寄りの傾向を強めている。

F-8 は水道のほぼ中央に位置しているために中水道の最狭部に接近する流れが集中する傾向があり、測定水深 6 cm~12 cm 付近で多少分布にも散らばりはあるが滑かな曲線を描いている。この F-8 においても中層が速く測定水深 10 cm で最大流速 18 cm/sec を示し、流向の変化も著しく表層付近は大体水道に平行しているが、測定水深 14 cm 付近から次第に大きく右寄りに向を変えている。これは海底地形の蛇行によって生じた現象と考えられよう。

H-8 は中水道の最狭部に位置しているため、中渡島に圧流された流れが水道中央に向ってはみ出され、また前述した馬島ネズミ鼻付近のムクリより分岐した強い流れが集中し、流れの加速が著しいところから分布にもその影響が現われている。この H-8 ではさらに表層より中層付近の流速が速くなり、上流側の測点よりもその流速差が大きく変化した。これは断面の縮小ともなって中渡島西の鼻に非常に大きい水位差が生じたことを意味し、三次元的な剪断力が作用しているものと考えられる。したがって、流向も水深各層において右寄りすなわち、水道の中央に向け中渡島西の鼻からの流速の強さを示し

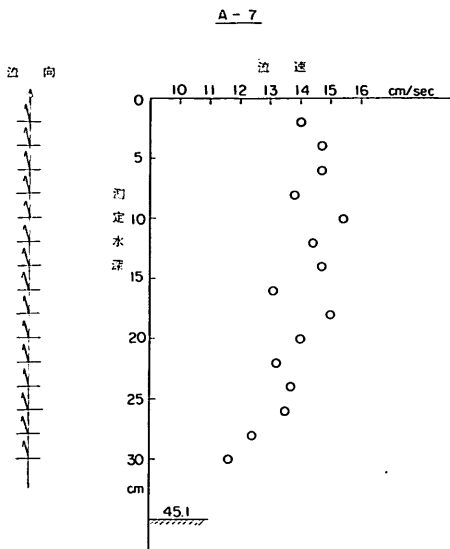


図-8-1 流速鉛直分布図 (case 1)

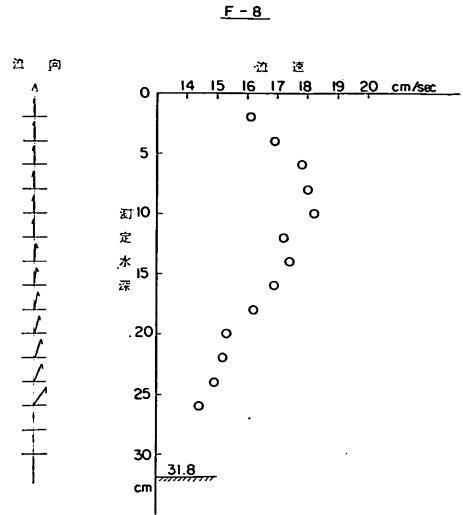


図-8-3 流速鉛直分布図 (case 1)

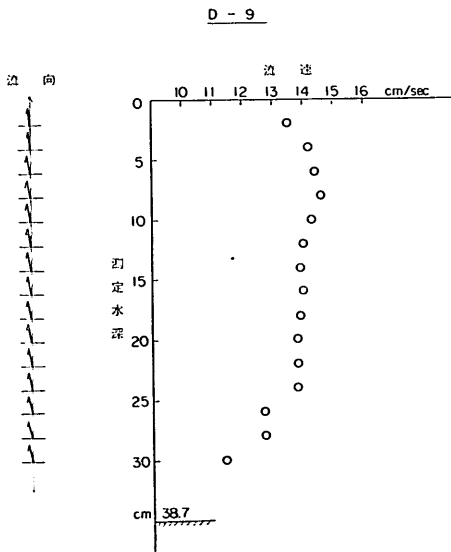


図-8-2 流速鉛直分布図 (case 1)

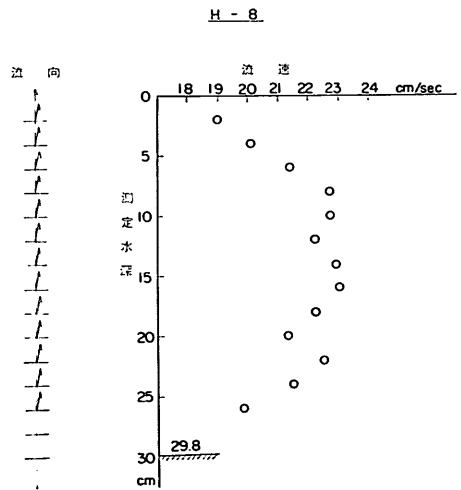


図-8-4 流速鉛直分布図 (case 1)

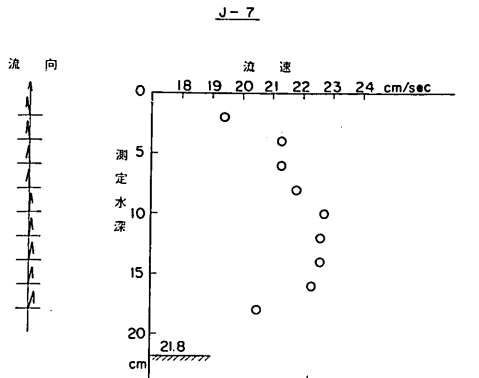


図-8.5 流速鉛直分布図 (case 1)

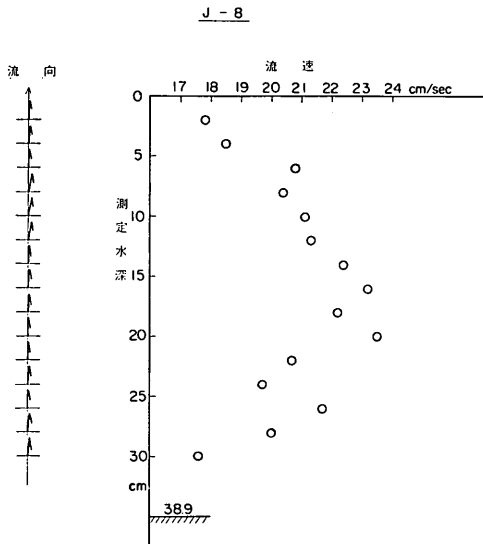


図-8.6 流速鉛直分布図 (case 1)

ている。

次に J-7, 8 については、前述したようにこの付近は中水道の最狭部を流下した流れがもっとも加速されている水域であり、特に J-7 の流向は測定水深 2, 4 cm で左寄りの傾向を示しているが、測定水深 10~18 cm では反対に右寄りの傾向が強く現われている。また流速分布において中層よりやや深いところが突出し、いかに中渡島西の鼻からの強い流れの影響を受けているかを示している。

J-8 の流向は表層付近がやや右寄りの傾向をみせ、分布より明らかに流速の増大する測定水深 14 cm 付近から底層にかけて水道に平行な流向を示している。また流速は中層付近を軸に対称的な分布を示し、特に中層より

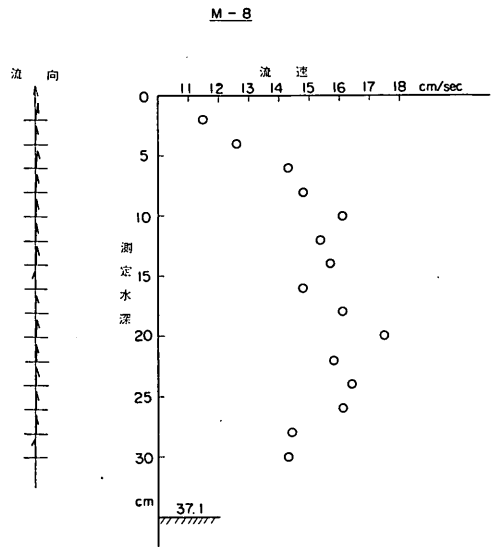


図-8.7 流速鉛直分布図 (case 1)

底層にかけての測定値の散乱は流れの乱れも強くなったものと考えられる。

M-8 では J-8 に似た性質をなし、M-8 の流速は J-8 のそれよりも平均流速で 25% 程度の減少を示している。

u, v 成分の測定位置は図-5 に示すように地形の改良を施す箇所を選定し、その周辺で最も影響を受けると考えられる範囲を縦方向 25 cm, 横方向 5 cm 間隔の測定を設け、地形改良によって生ずる流況変化の測定を行なった。

u, v 成分の決めかたは、各々の測点で 6, 7, 8, 9 等の各計測 line に平行に流下方向を正として Y 軸をとり、この流速成分を u とする。 v はこれに直角に右方向の流速成分を正としてとられている。したがって、平均の流れが水平面内において Y 軸となす角を θ とし、測定された平均流速に $\cos \theta, \sin \theta$ を乗じてその測点における u, v の値が算出されている。

馬島側は図-9 に示す測定水深 2 cm における u, v 成分をネズミ鼻よりナガセ鼻間の 6 断面としてその流速、流向を表している。(図-5 全般図参照)

まず D' 測線の流速は、島寄りの D'-5~6, 5~7 が他の測点にくらべ僅かに流速が遅い傾向を示し、他の測点は水道の中央に近づくにつれ流速は次第に大きくなる様相を示している。流向はすべて v が負の値を示しているのは、下流に向かって左寄りに流向を与えている。特に D'-6~4, 6~5 付近が多少その傾向が強くなっているよ

D' 測程

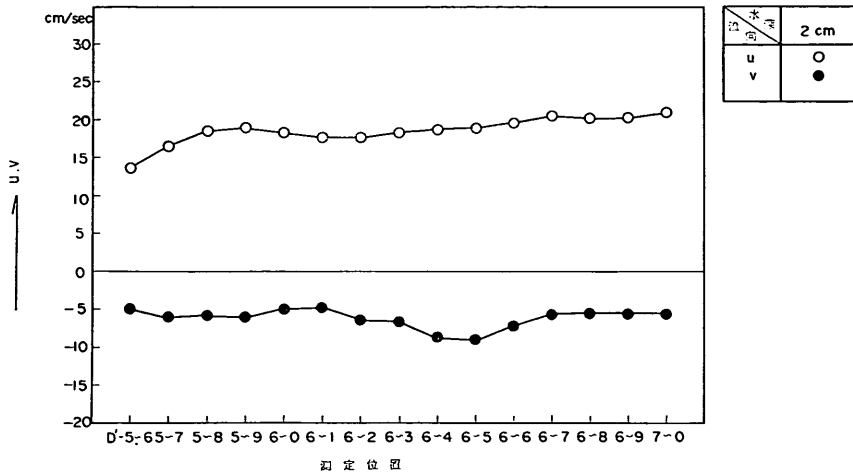


図-9.1 馬島側 u, v 成分 (case 1)

E 測程

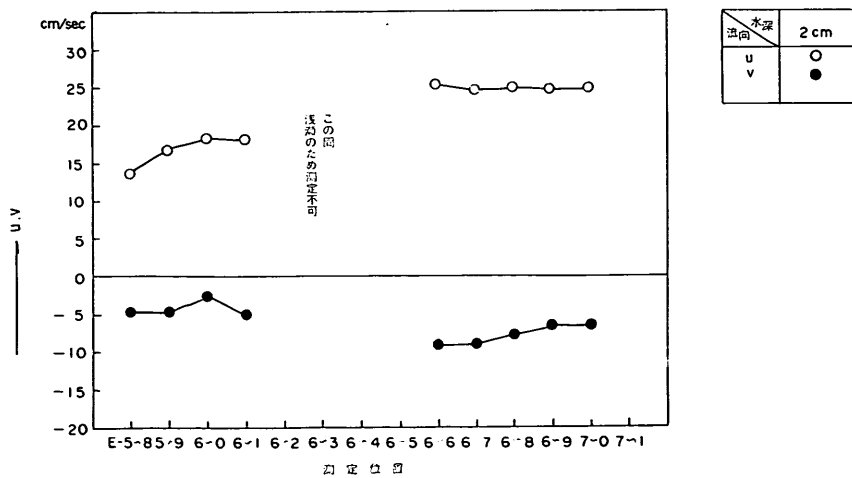
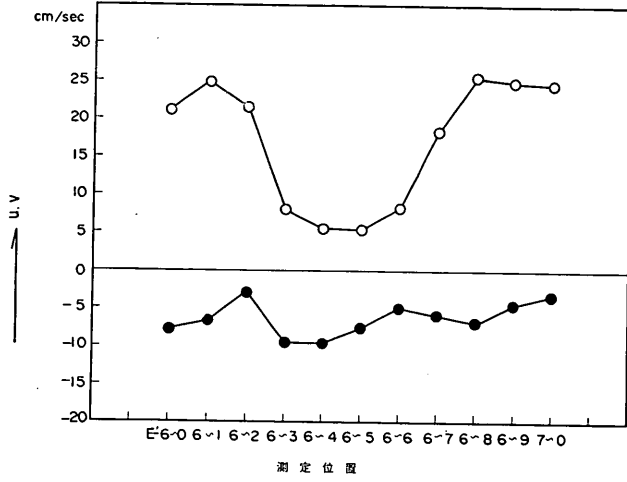


図-9.2 馬島側 u, v 成分 (case 1)

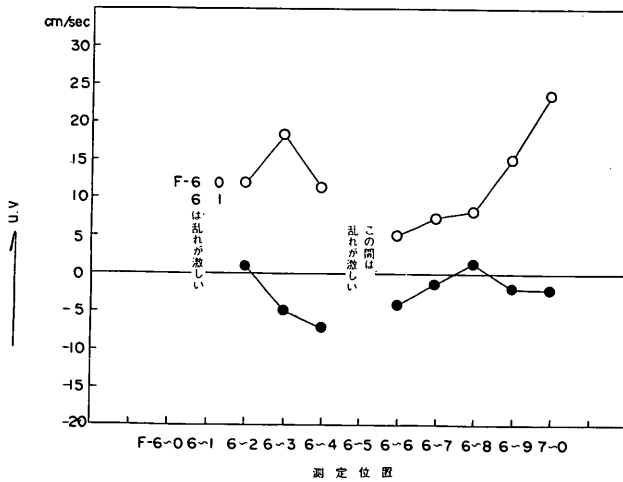
E' 測線



水深	2 cm
流向	
u	○
v	●

図-9.3 馬島側 u, v 成分 (case 1)

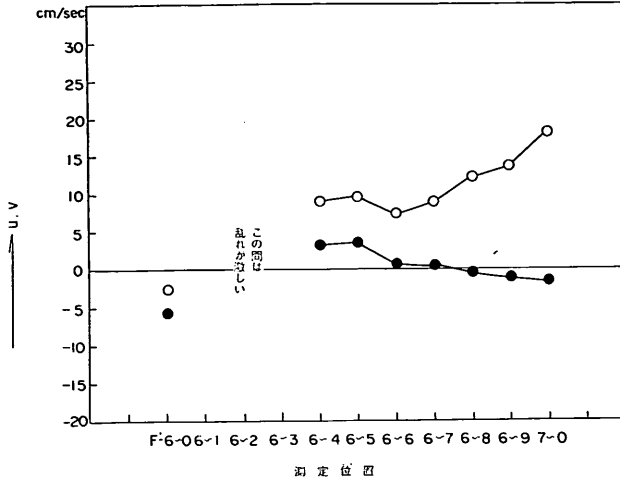
F 測線



水深	2 cm
流向	
u	○
v	●

図-9.4 馬島側 u, v 成分 (case 1)

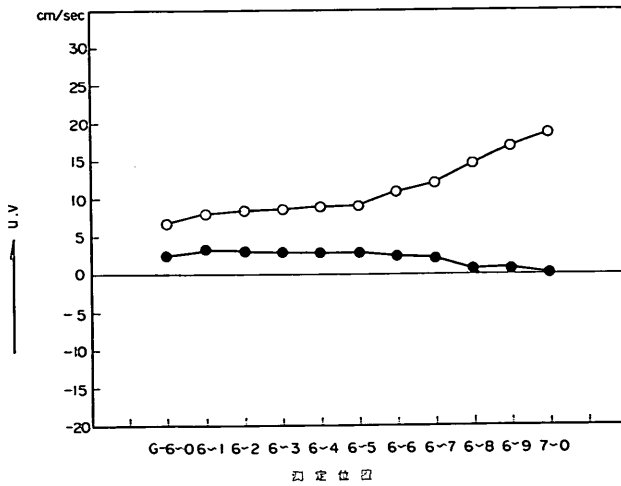
F' 測線



測深	水深	2 cm
u	v	
		○
		●

測定位置
図-9.5 馬島側 u, v 成分 (case 1)

G 測線



測深	水深	2 cm
u	v	
		○
		●

測定位置
図-9.6 馬島側 u, v 成分 (case 1)

うに見受けられるが、この断面では総体的に乱れの影響は受けていない。

E 測線ではネズミ鼻付近のムクリ地点の浅部に位置しているため、E-6~2, 6~3, 6~4, 6~5 では流速計の構造上の問題で測定を行なうのは不可能であった。分布より明らかにムクリ地点の浅部によって流れが分岐し、前述したように島寄りの流れよりも水道中央に向う流れが平均流速にして 46% も大きくなっている。

E' 測線においては、ムクリ地点の影響を受けて流速分布が特有の変化を示し、その流速差がきわめて著しく現われている。さらに流向にも測定値の散乱が目立ち、ムクリの浅部から乱れが発生していることを示している。

F 測線では乱れの頻度が大きく流速、流向にその傾向が著しく、特に F-6~0, 6~1 および F-6~5 では乱れが激しく定常的な流速、流向を取ら得ることは出来ない。

次に F' 測線については、すでに上流側の F 測線において発生した乱れの位置が、この F' では流下にとまぬ島寄りに移動している。また F'-6~4, 6~5 付近の流向にも正の方向すなわち右寄りの傾向が強くと現われ、乱れ領域が F から F' にかけて島寄りに移動することと共通な現象と思われる。

馬島ナガセ鼻の G 測線でようやく大きな乱れが消え、流速も島寄りの G-6~0 から G-6~5 付近までは流速 10 cm/sec 以下を示しているが、G-6~6 より水道中央に向うにつれ流速の増加が著しく G-7~0 で流速 18.5 cm/sec の値を示している。これは前述したムクリ地点より分岐した 7 line における強い流れがこの G-7~0 に現われた結果と考えられ、流向の分布からもこの G 測線は全体的に右寄りの傾向を示しているが、G-7~0 では図から観察される如く直進する様相を示していることがわかる。

中渡島側は図-10 に示す測定水深 2 cm, 12 cm における u, v 成分を G' 測線から J 測線までとし、馬島側と同様に縦方向に 25 cm 横方向に 5 cm の測定間隔となっている。(図-5 全般図参照) この測線を施した区域は南流の場合中渡島の cut に最も強く影響を受ける水域と考えられる。

G' 測線は中水道の最狭部より約 10 cm 上流側にあり、図から明らかなように測定水深 2 cm, 12 cm における成分は似た傾向を示し、流れの方向はすべて右寄りになっている。特に G'-8~5 から 8~6 にかけて測定水深

2 cm が急激に変化しているのは、中渡島の影響で右寄りになったからであろう。また測定水深 2 cm 付近を表層、測定水深 12 cm 付近を中層とすると、中層の u 成分は表層と同じかあるいは、多少速くなる個所が現われているが、 v 成分では約 5 cm/sec 中層が速くなっている。

H 測線においては中渡島の影響で始めて剝離現象がみられる。したがって、島をまわる流れは幅 10 cm の著しい攪乱区域を形成している。さらに島の背後における反流域での流速は u, v 成分とも右寄り、図のように変化のある流れとなっている。一方順流の u 成分は表層にくらべ中層の流れが 2~3 cm/sec 速くっており、島に近くなるにしたがって漸減している。 v 成分は大体中層が表層よりその流速が大きい傾向を示し、表層付近で沖の方から攪乱区域に近くなるにつれ漸増する傾向にある。

H' 測線では攪乱区域が H'-8~7 から 8~9 の間で幅 20 cm に拡大され、その深さも中層にまで達している。反流区域 H'-9~0 から 9~3 の流速は図に示すように u, v 、ともに直線的な分布を示し安定した流れとなっている。順流域の u 成分は表層、中層とも似た性質をなし、攪乱区域に近くなるほど減少している。また v 成分も前測線 H より全体的に小さくなっているため、中渡島の影響が次第に消えていく傾向を示すものである。

I 測線における攪乱区域の幅は前測線 H' と同じく 20 cm であり、しかし乱れの激しい現象は中層にまでは達していない。図から明らかに中層の u 成分と v 成分は、沖の方から次第に向きを変え反流域の u は負の値を示し、流れは反転していることがわかる。さらに順流域の v 成分は総体的に 4 cm/sec 以下である。

I', J 測線における攪乱区域の幅は 25 cm で前測線 I と同じように中層にまでは達していない。順流域の中層における u 成分は沖から 8~4 付近までは表層より 3~4 cm/sec 速くなっている。また v 成分については、I' 測線で 5 cm/sec 以下を示し総体的に右寄りの傾向となっている。

J 測線では大体 5 cm/sec 以下であるが、測定値に散乱が目立ち乱れの変動も相当大きいことを示している。

以上から中渡島側の流況について一般的な傾向としては、順流域における u 成分で最も大きい値を示す測線は表層で H', 中層では J である。また測線 H' において表層と中層の流速はほぼ同じ傾向を示しているが、その他の測線では大体中層の方が速くなる模様である。

G' 測位

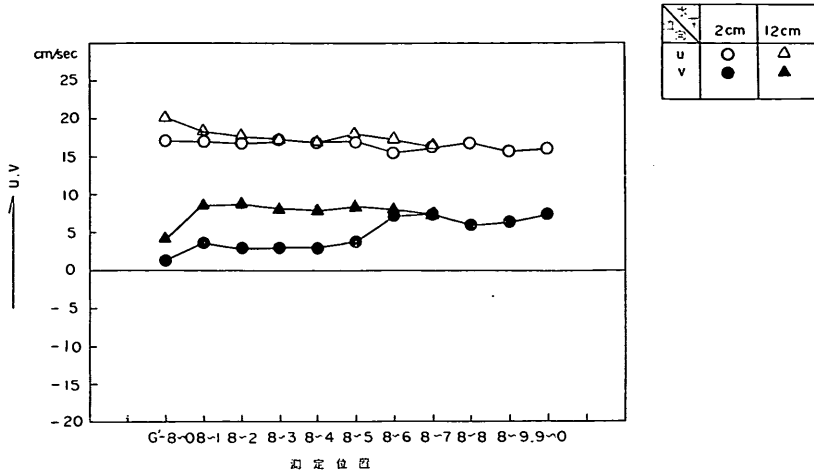


図-10.1 中渡島側 u, v 成分 (case 1)

H 測位

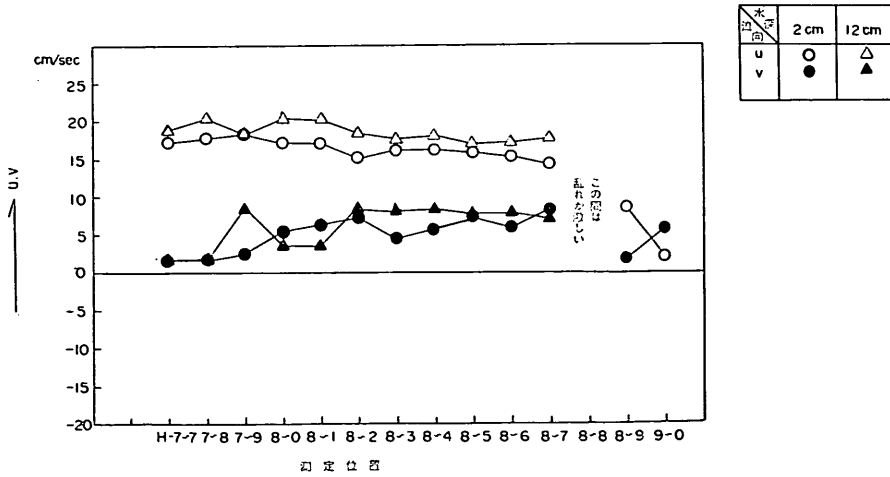


図-10.2 中渡島側 u, v 成分 (case 1)

H' 測 線

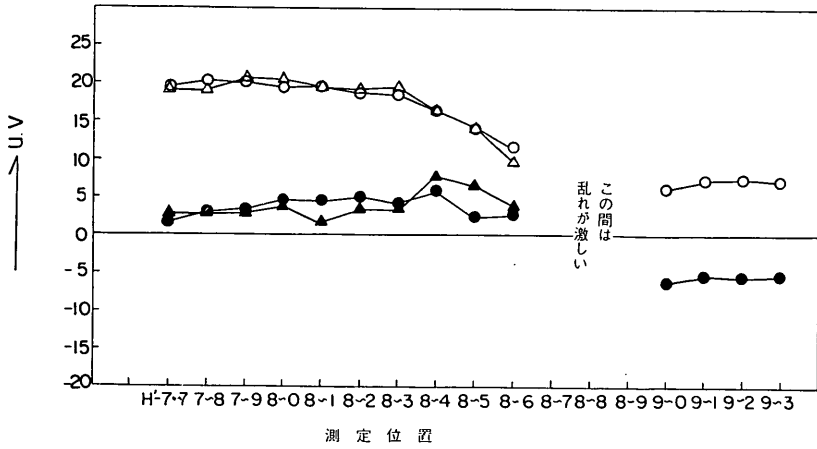


図-10.3 中渡島側 u, v 成分 (case 1)

I 測 線

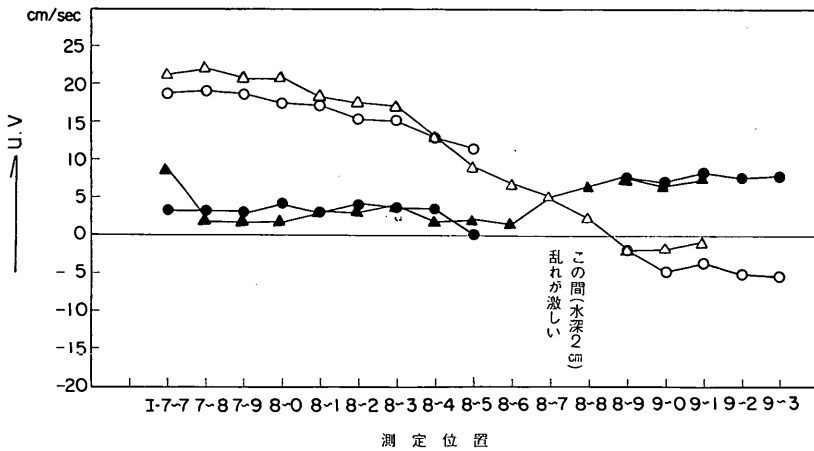


図-10.4 中渡島側 u, v 成分 (case 1)

I' 測線

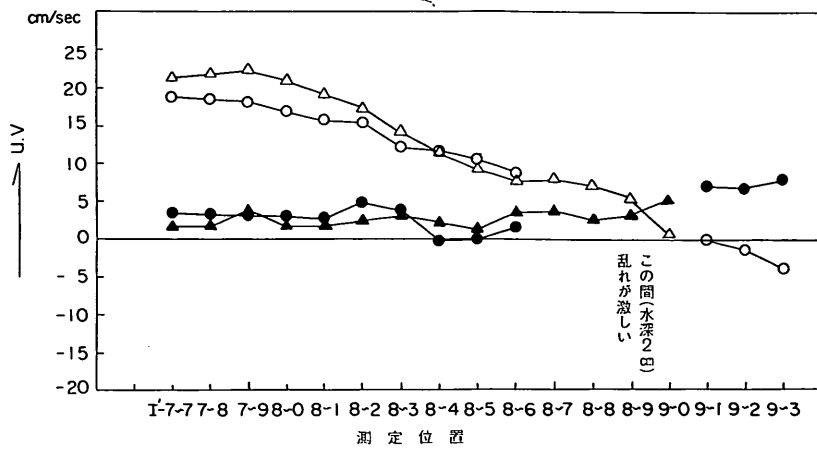


図-10.5 中渡島側 u, v 成分 (case 1)

J 測線

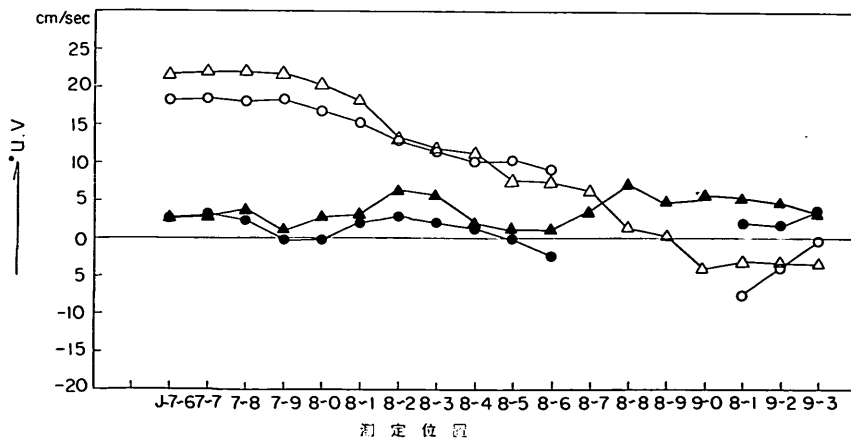


図-10.6 中渡島側 u, v 成分 (case 1)

剝離現象は前述したようにH測線からみられ、攪乱区域の幅は流下するほど次第に大きくなって行くのがわかる。また順流域の u 成分については表層、中層ともにG', H測線で水平の直線的な分布を示しているが、これが流下するにしたがって水平の直線的な傾向を示す部分が狭くなって行くのがわかる。

反流域の u, v 成分をみると地形の影響でH'測線が最も大きく、I, I', J測線になるにつれ漸次小さくなって行く模様である。

5-2 Case 2 cut 500

この実験 case は馬島側におけるネズミ鼻よりナガセ鼻の周辺を平面地形および海底地形を改良したものである。

その方法は、平面地形を現況における馬島の汀線より50m 島を cut とし、その cut 勾配は5分として行なっている。海底地形は前述したムクリが点在しているので、これを島の cut した部分の先端部を基準線に中水道の馬島側における浅部を -20m に掘削している。

掘削面は現地における作業を考えた場合、平坦な状態に仕上げることは非常に困難と考えられる。したがって、模型に採用した掘削面は一応平坦に仕上げて置いてから、記述の事項を考慮し粗度の要素を加えて小さいイボを適当に設けた。

図-11 に示した流線から明らかに中水道に流入する流れは、ネズミ鼻付近のムクリを除却した関係から乱流域が消え、整流された流れが下流に向って直進する傾向を示している。さらにナガセ鼻より下流側において case 1 では島沿いの流れが生じているが、この case では地形改良によってナガセ鼻より剝離現象が現われている。特にこの影響が下流側におけるM線上に現われ、case 1 でみせた島寄りの流れが 50cm も水道内に寄っている。

こうした剝離現象については、ムクリの浅部を除却して -20m の水深としその攪乱域が消失したことと関係していると考えられるが、模型と現地とは Reynolds 数に大きな差があるため、現地でも模型と同様の現象が確実に現われるとは言いきれない。

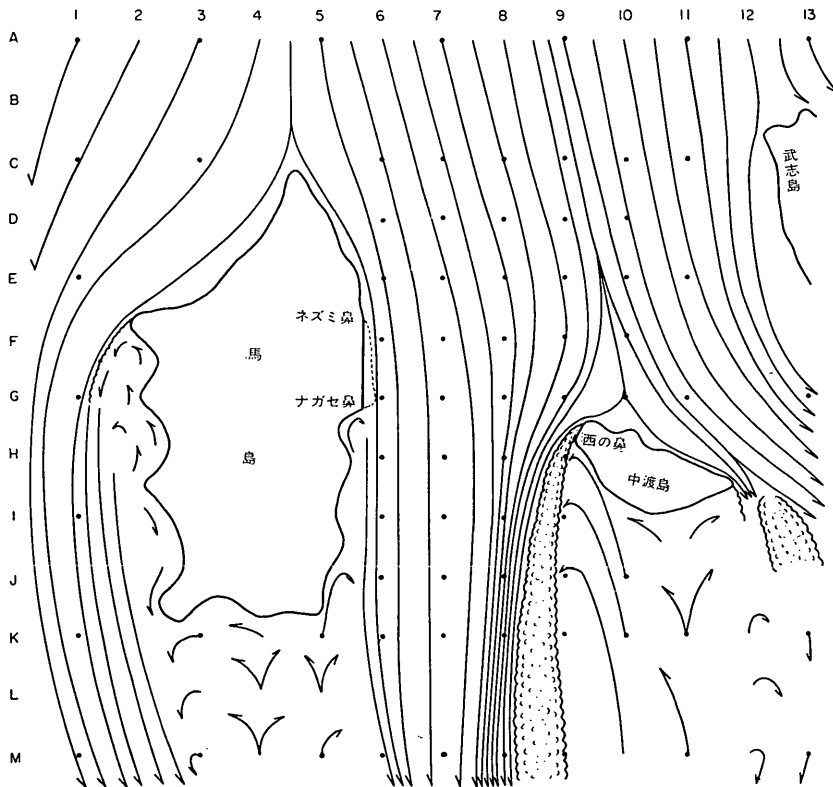


図-11 流線図 (case 2)

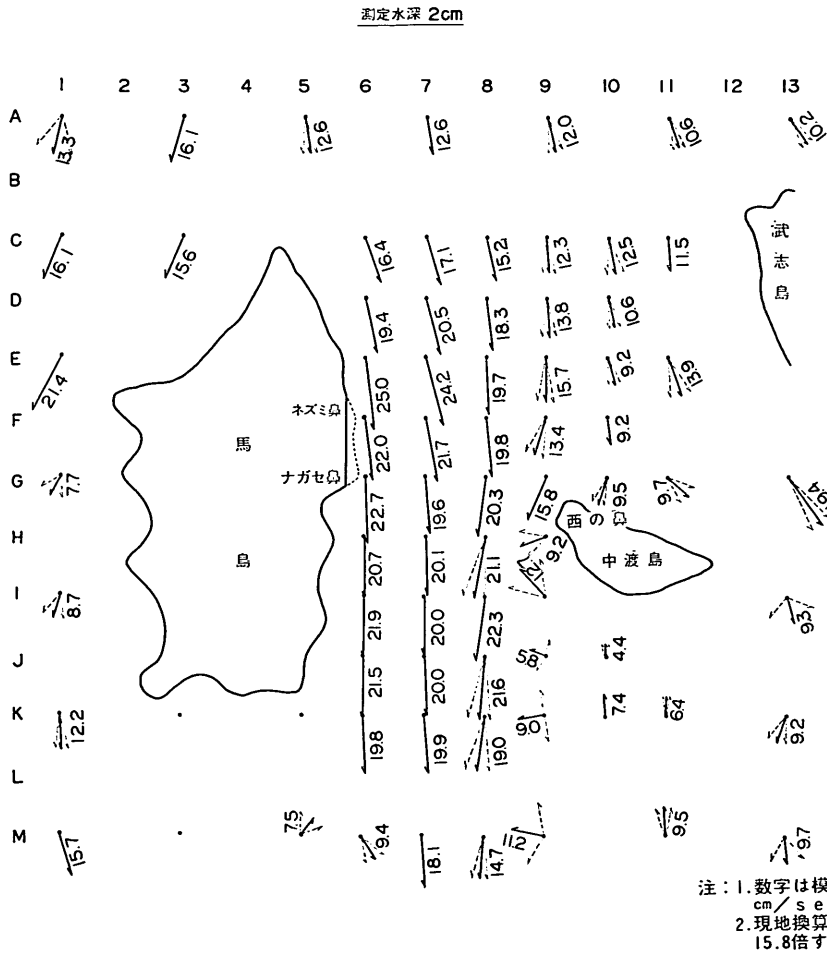


図-12.1 流速流向ベクトル表示図 (case 2)

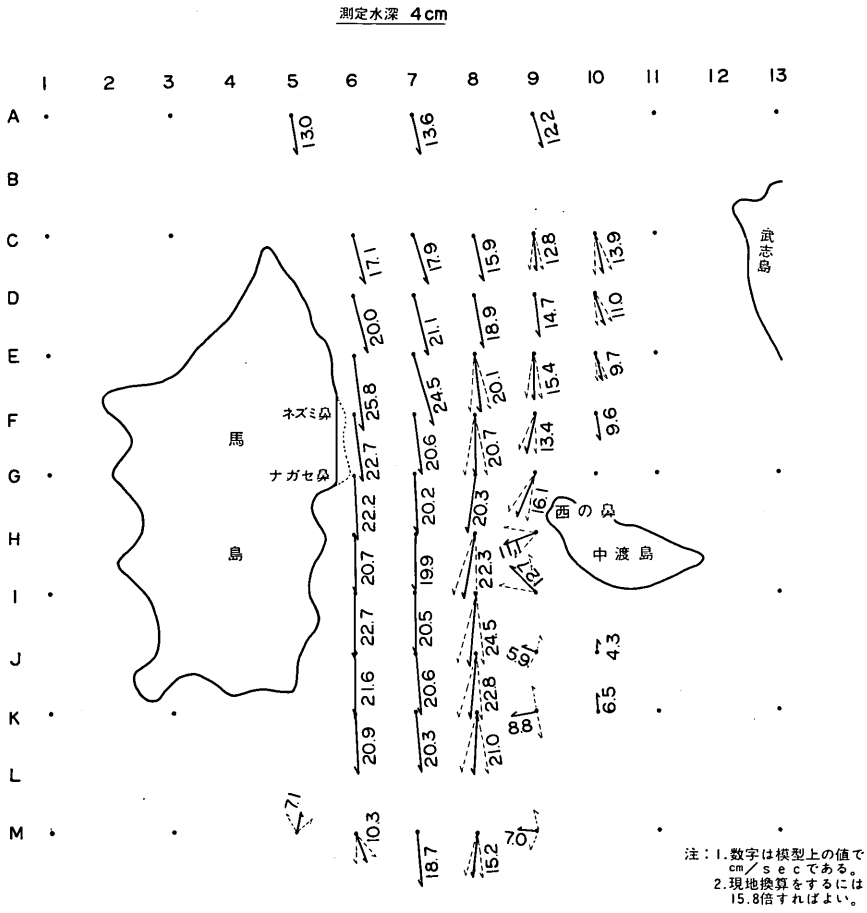


図-12.2 流速流向ベクトル表示図 (case 2)

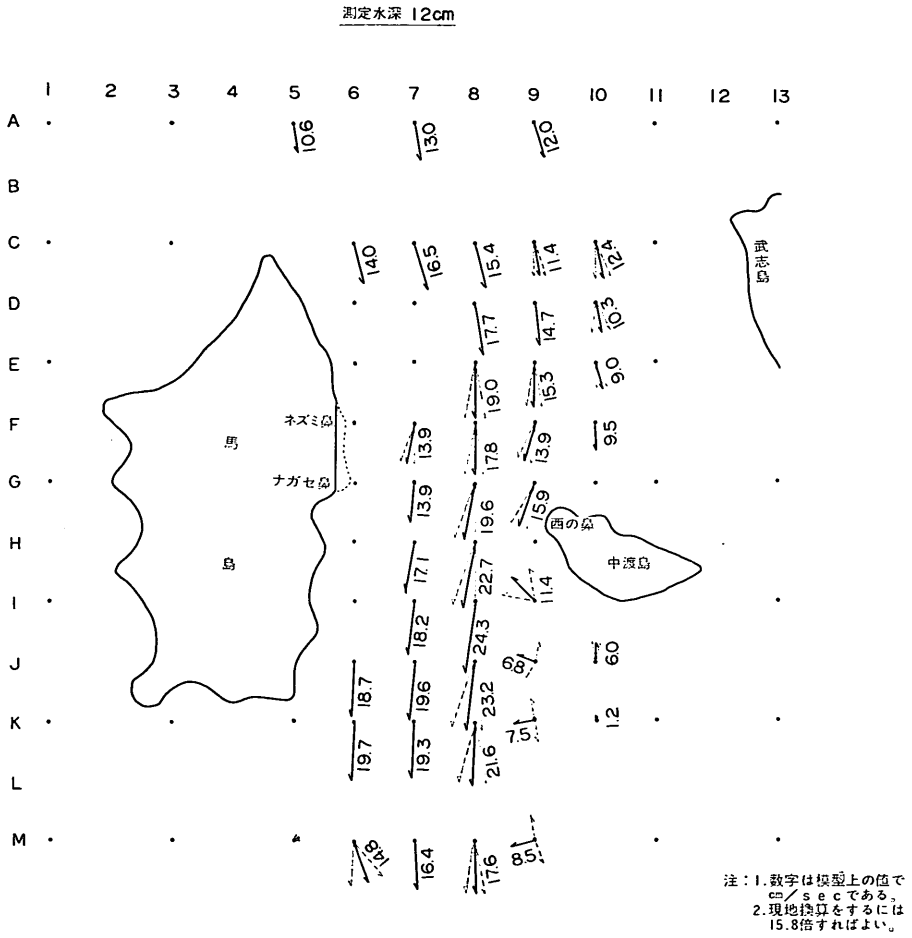


図-12.3 流速流向ベクトル表示図 (case 2)

中渡島上流水域における流れの分岐点は、E-9とE-10の中間に移動し改良の影響を示している。他の水域における流線の分布はcase 1に比較し多少の差異はあるが、一般的な傾向としてはほとんど変化していない。

水表面下2cm, 4cm, 12cmの各測定水深における流速, 流向のベクトル表示は図-12に示した。

このcaseでは地形を改良した効果が明確に現われ, 流速, 流向ともその変化が著しい。特にネズミ鼻付近の拡幅増深により乱流域が消失し, ネズミ鼻より下流側に

おいて岸側の6lineの流速がcase 1よりはるかに増大し, 大きいところでは約3倍以上の流速が現われ, この傾向は測定水深の各層においてほぼ同じである。さらに地形改良の影響が8lineにも現われ総体的に流速は増加し, case 1にくらべcase 2では約20%の増加がみられ8lineの流速は, 測定水深の平均で約20cm/secを示している。一方7lineではこれほどの増速現象はみられない。

これは模型のこの部分において乱れの規模が現地と比

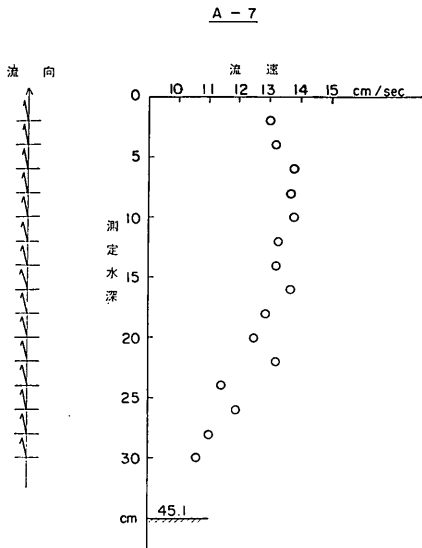


図-13-1 流速鉛直分布図 (case 2)

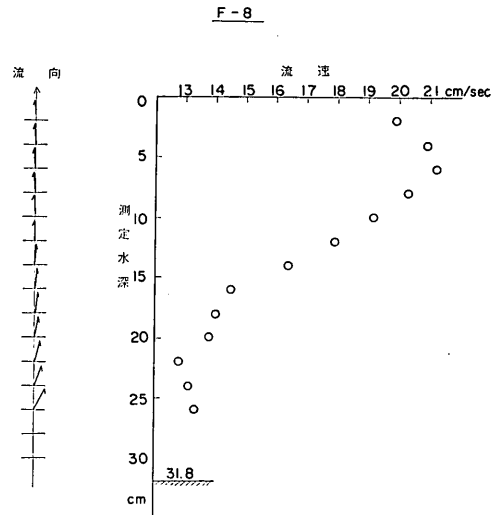


図-13-3 流速鉛直分布図 (case 2)

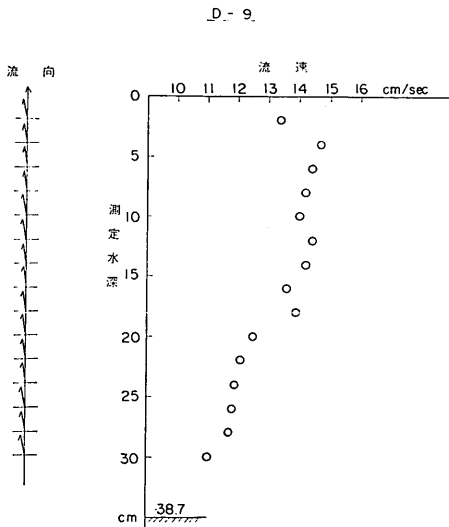


図-13-2 流速鉛直分布図 (case 2)

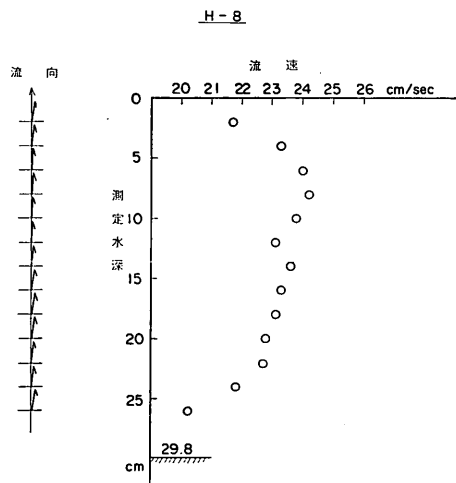


図-13-4 流速鉛直分布図 (case 2)

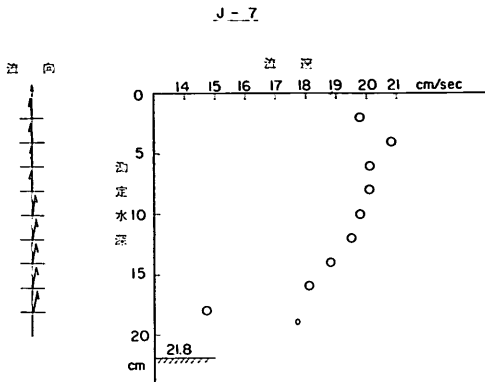


図-13.5 流速鉛直分布図 (case 2)

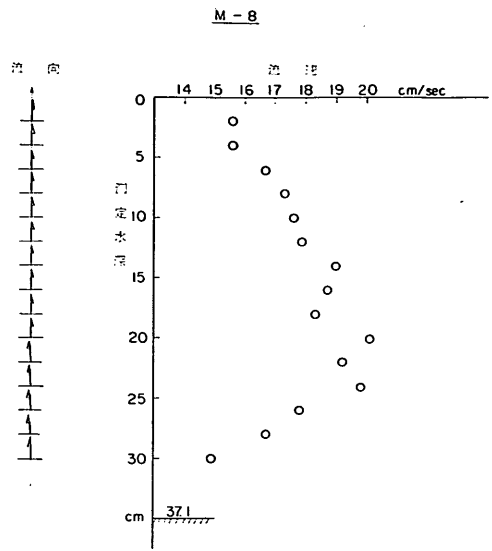


図-13.7 流速鉛直分布図 (case 2)

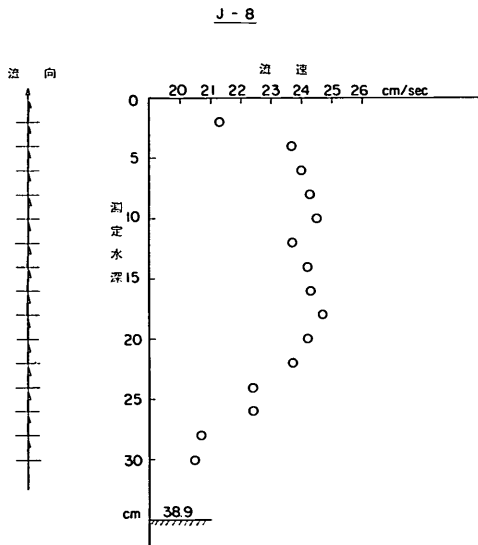


図-13.6 流速鉛直分布図 (case 2)

較して小さいため、水分子の混合が弱く流れに直角な断面内の流速分布の平均化がそれほど進まないためであろう。

中渡島より形成される後流領域における流速、流向は、case 1 と似た傾向を示し多少地域的に差異はみられるが、前述したように後流端が一般流と接する不連続な渦流領域では、定常的な流速、流向を取ら得ることは困難である。他の水域における流況の変化は流速分布図からわかるようにそれほど顕著でない。

流速鉛直分布は case 1 と同じ位置で測定し図-13 の各図に示している。

A-7 では case 1 でみられた中層付近の測定値の散乱は消えているが、測定水深 23 cm 付近で僅かに分布が

乱れている。中層付近の乱れが消えた原因について考えられることは、地形改良部の上流側においてすでに地形改良にともなう流れの効果が現われたものと考えられるであろう。測定水深の各層における流向は左寄りの傾向で case 1 と大体一致している。

D-9 においては測定水深 4 cm~18 cm にかき極端に流速が大きく、水深から判断して改良地形にともなう流れの効果が、この D-9 付近にも多少影響を及ぼしたものと考えられる。

F-8 では表層付近において流速は増大し、底層付近では逆に僅かに減少しているが流向には変化はみられず case 1 と同様である。F-8 における最大流速は case 1 で 18 cm/sec を示したが、case 2 で 21 cm/sec となり約 17% の増大率を示し、すべて地形改良の結果このような現象を生じさせている。

H-8 は前述した中水道の最狭部に位置しているため流れの加速が著しく、地形改良で馬島側が整流されて直進する傾向が強くなり、改良の結果は流速が増大し case 1 にくらべ最大流速を示す位置が表層近くに移動している。流れの方向においても測定水深 5 cm~12 cm 付近に差異が生じ、流速分速に多少のずれが現われ流れは直進する傾向を示している。

J-7 では表層付近が速い傾向を示し、流向も case 1 にくらべ case 2 では表層付近は直進する傾向となって現われている。

同じ測線上の J-8 でも上流側の F、H でみられた現

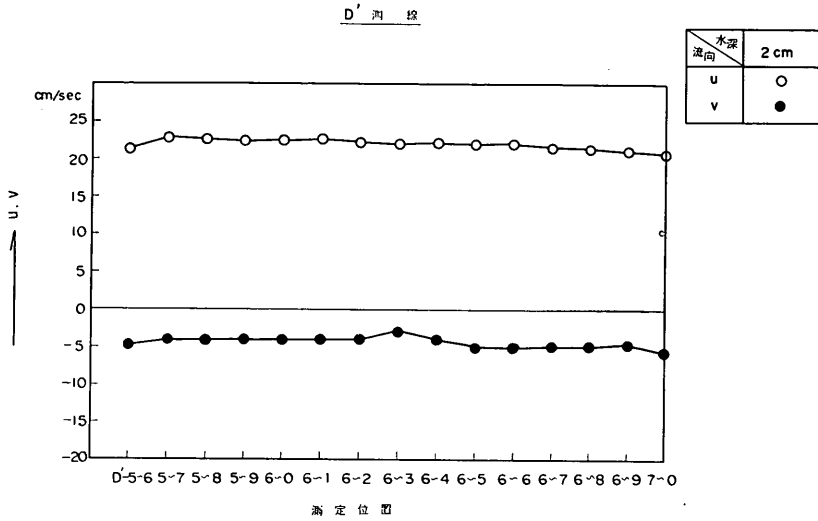


図-14.1 馬島側 u, v 成分 (case 2)

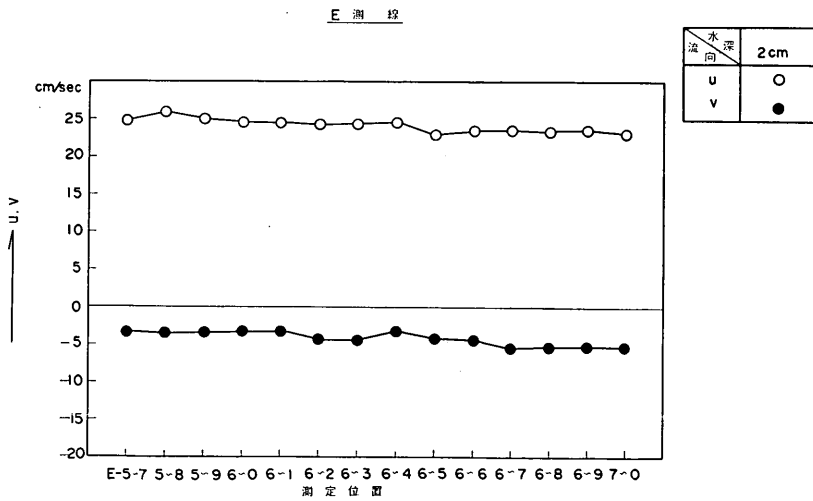


図-14.2 馬島側 u, v 成分 (case 2)

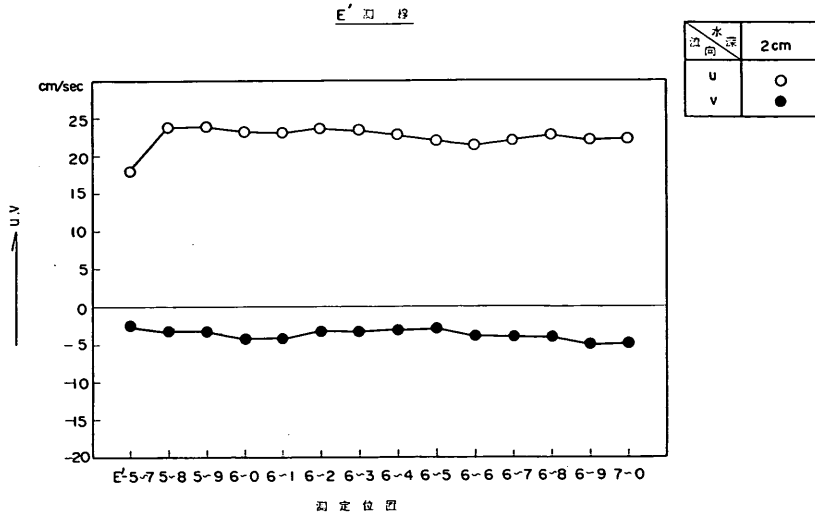


図-14.3 馬島側 u, v 成分 (case 2)

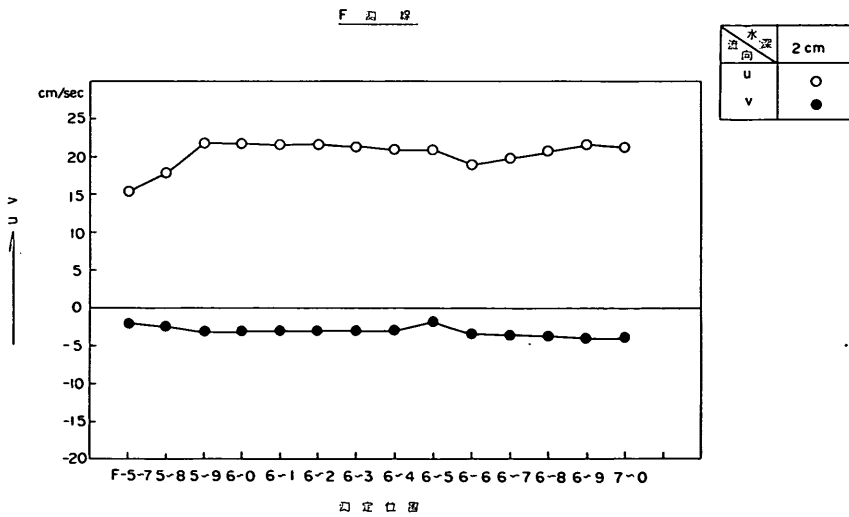


図-14.4 馬島側 u, v 成分 (case 2)

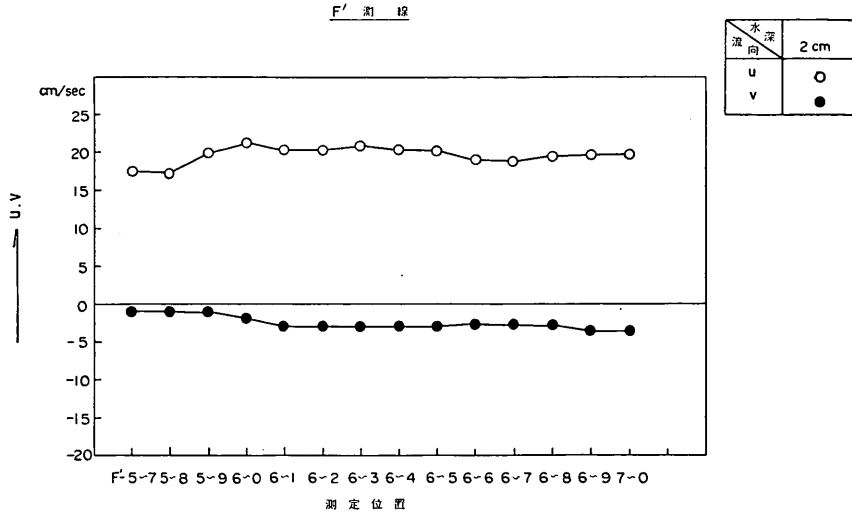


図-14.5 馬島側 u, v 成分 (case 2)

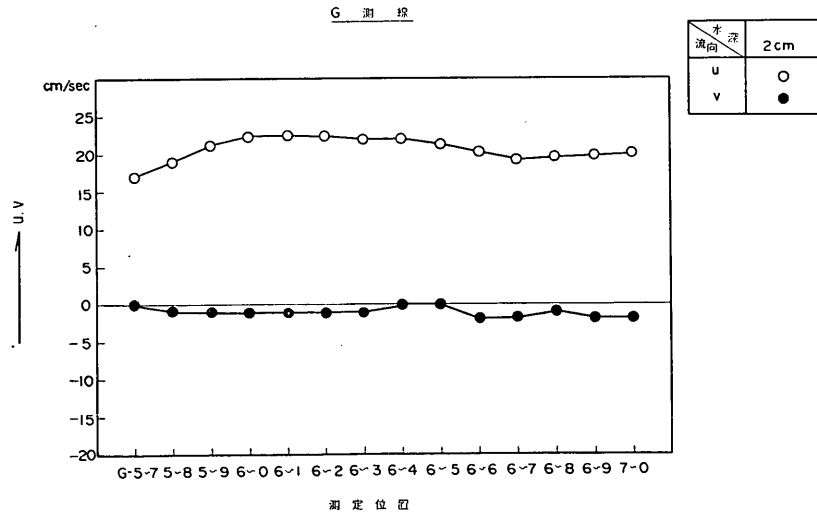


図-14.6 馬島側 u, v 成分 (case 2)

G' 測位

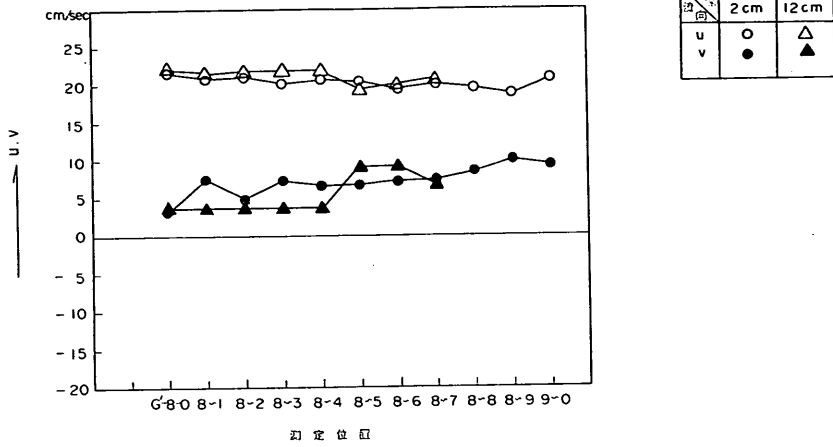


図-15.1 中渡島側 u, v 成分 (case 2)

H 測位

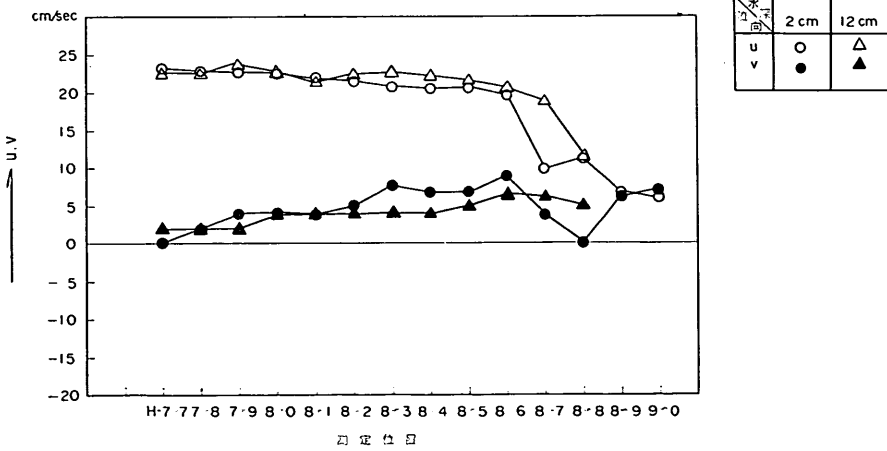


図-15.2 中渡島側 u, v 成分 (case 2)

H' 測 線

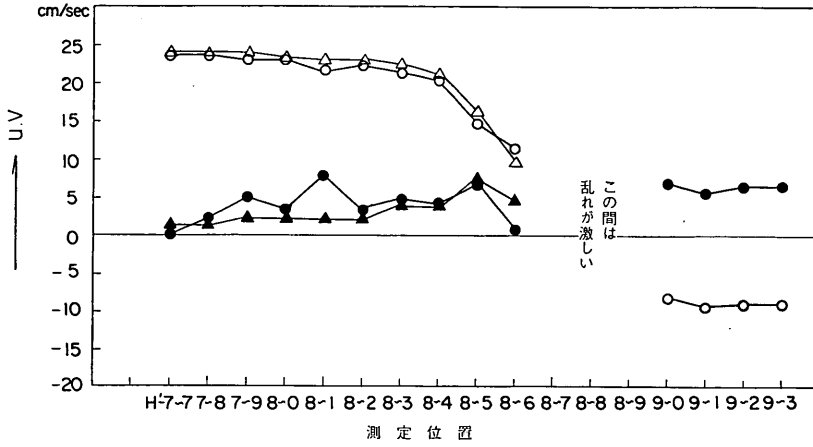


図-15.3 中渡島側 u, v 成分 (case 2)

I 測 線

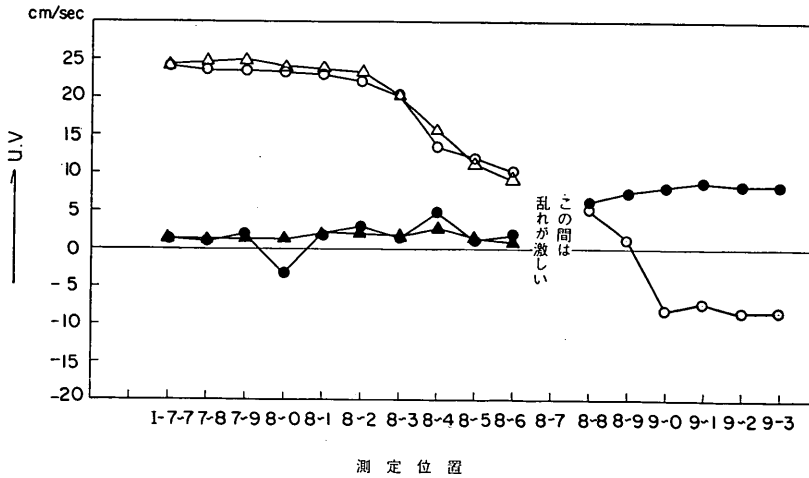


図-15.4 中渡島側 u, v 成分 (case 2)

I' 測線

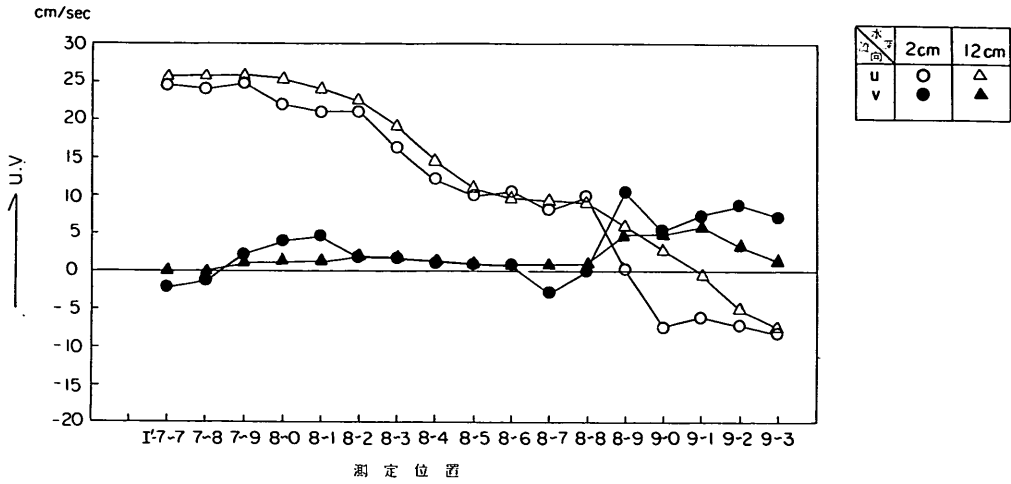


図-15.5 中渡島側 u, v 成分 (case 2)

J 測線

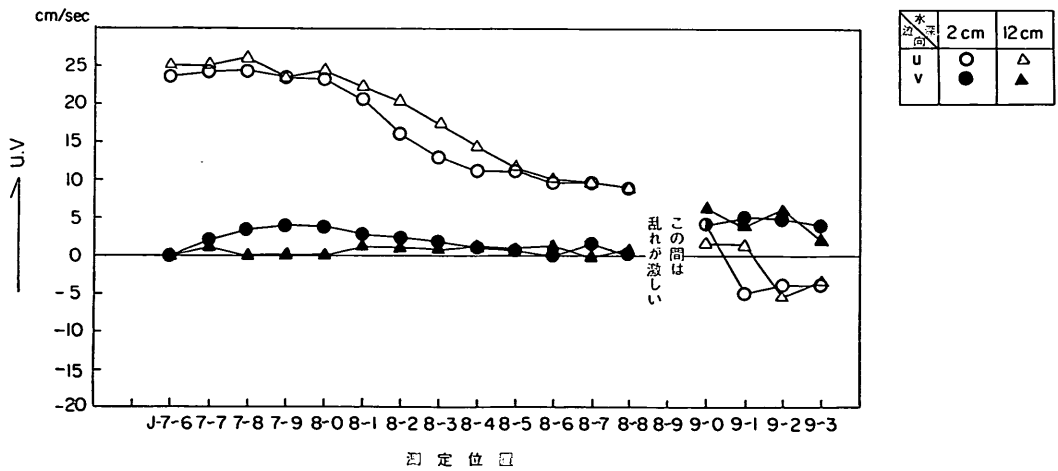


図-15.6 中渡島側 u, v 成分 (case 2)

象と似ており、表層付近で case 1 にくらべ流速の増大は約 28% を示している。

M-8 においては各測定水深とも case 1 にくらべ流速は増大し、最大流速の位置は case 1 と同じく水深 20 cm 付近にある。(全水深は 37.1 cm) 測定水深 20 cm 付近にみられる速度分布の散乱からすれば、規模の大きな乱流交換がこの付近にあるのではないかと考えられる。

馬島側 u, v 成分の測定は図-14 の各図に示した。

各測線について一般的な傾向としては、地形改良による流況の変化は著しく case 1 でみられた乱流域が消失し整流される。しかし、改良地形にともなって流速は case 1 より case 2 でははるかに増大し、前述したように大きいところで約 3 倍以上を示している。

D', E 測線では流速、流向はともに似た性質をなし、馬島寄りの 5~6 line から沖方の 7 line にいたる間ではほとんど変化がない。

E', F 測線においては、地形の拡幅によって 5~7, 5~8, 5~9 の 3 点を新に設けている。この測線では馬島の岸寄りの u 成分が岸に向い漸次減少しているが、他の測点における流速、流向は D', E 測線の現象と同じ傾向である。

次に F', G 測線ではやはり岸側の流速がやや遅く流れの方向において上流側の測線より u 成分が減少し、流れは馬島の cut に平行となっている。

したがって、実験目的の渦流緩和対策としてこの馬島側における地形改良は効果的であり、流れの流速、流向ともにほぼ一様となっている。平均流速は増加する傾向を示しているが、これは海底および馬島側壁の粗度の減少ともなう必然的な結果である。

次に中渡島側 u, v 成分の測定は図-15 に示した。

G' 測線の u 成分は case 1 より全体的に流速 3~4 cm/sec の増加を示し、測定水深 2, 12 cm とともに似た性質をなしているが、測定水深 12 cm が 2 cm より多少大きくなっている。 v 成分は図から明らかなように沖の方から G'-8-4 にかけて表層 (測定水深 2 cm) は中層 (測定水深 12 cm) より人きくなり、case 1 と逆の現象である。この結果中層付近の流れは case 1 より多少左に寄ったものと考えられる。

H 測線においても前測線 G と同じく中層が表層よりも流速がやや大きく、島に近くなるほど漸減している傾向を示している。順流域における表層の v 成分は case 1 とほぼ同じ傾向であるが、図から明らかに中層では case 1 より 3~4 cm/sec 減少している。さらに表層における流

速、流向は H-8~7 で急激に変化しているのがわかる。そのためこの付近は case 1 のような攪乱区域ではないが乱れの大きい領域と考えられる。

H', I 測線においてはまず H' 測線で幅 20 cm の攪乱区域がみられるが、I 測線では攪乱幅が 10 cm と縮小している。特に I-8~8, 8~9 の流速が急激に変化しており、これは前測線の現象と同じ傾向を示している。 u 成分は case 1 と同じ流れの性質であるが沖の方から 8~4 付近までは表層、中層とも case 1 より 3~4 cm/sec 速くなっているが、 v 成分は case 1 とほぼ似ている。

I', J 測線の攪乱区域は case 1 ほど顕著に現われていない。しかし、I' 測線の I'-8~9 付近で多少 u, v 成分が変化しているが、これは 8~9 line がほぼ攪乱している区域の中に入っているものと考えられる。順流域における u 成分は case 1 でみられた現象と同じ傾向を示している。また中層の v 成分はほとんど 0 に近いので、 u 軸に平行に流れているものと思われる。さらに表層における v 成分は I' 測線では I'-8~0, 8~1 の付近が、J 測線では J-7~8, 7~9, 8~0 付近が中層より 3~4 cm/sec 急激に大きくなっている。

以上から馬島を改良した結果が中渡島側に及ぼす流況については、順流域で特に流れが速い部分すなわち、中水道の中心付近における表層、中層の平均流速は case 1 より 3~5 cm/sec の増速を示している。また、この case における表層、中層の平均流速の差は case 1 よりも小さい様相を示している。流れの方向は各測線とも case 1 より全体的に左に寄っている模様である。さらに攪乱区域は case 1 と大体同じ場所に位置しているが、乱れの規模は case 1 よりも小さくなっていると思われる。

5-3 Case 3 Cut 600

この実験 case は、case 2 における馬島側の cut を基準線として中水道の水道幅を中渡島寄りに 100 m 延長し、このため中渡島の一部を改良した場合である。

海底地形においては、case 2 と同じ掘削水深 -20 m として行なった。

この結果は図-16 に示した流線図から case 2 にみられた流況の変化がさらに明らかとなり、馬島ナガセより下流側における島沿いの流れに剝離現象が生じている。

次に中渡島一部の改良地形の結果順流域と後流領域の境界が case 1, 2 に比較して多少中渡島側に寄る傾向を示している。特に下流側の M 線上で順流域が中渡島側に case 1, 2 にくらべ約 30 m 幅を拡げているが、拡幅量 100 m に対し後流域の変化はそれほど大きくない。

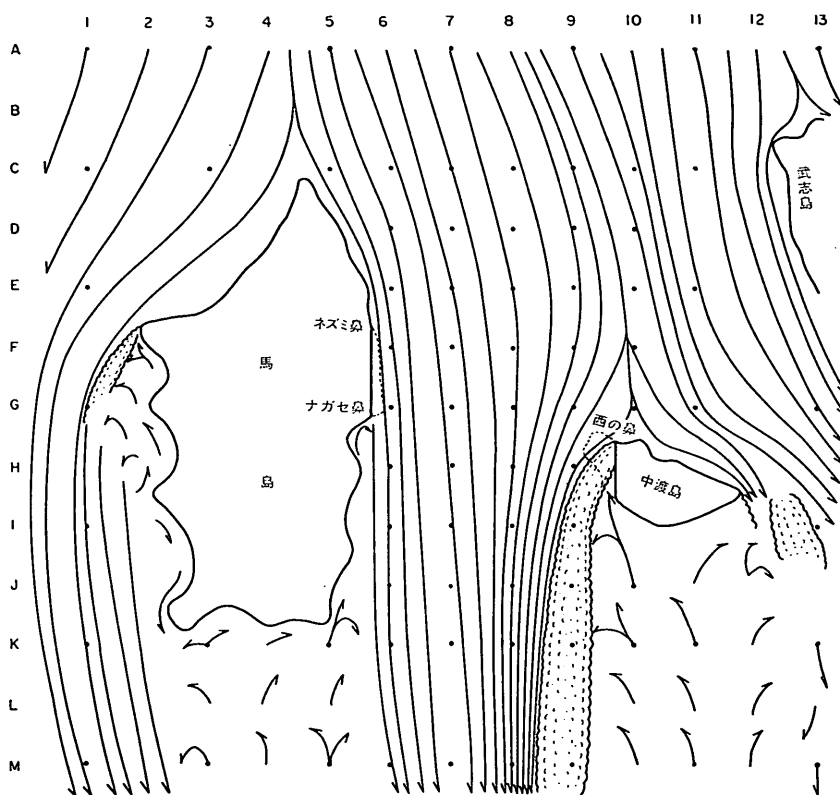


図-16 流線図 (case 3)

これは中渡島の改良地形における増深および形状の取扱いに大いに検討すべき問題である。さらに中渡島上流側における流れの分岐点にも改良の影響が現われ、分岐点はやや南にさがって F-10 に位置を変えている。その他の水域は多少の差異はあるが、それほど変化した様相はみせていない。

水表面下 2 cm, 4 cm, 12 cm における流速, 流向のベクトル表示は図-17 の各図に示している。

この case においても case 2 と同様に測定水深の各層で特に, 8 line における流速が増加する傾向を示している。逆に馬島ナガセ島より下流側における水域では, 6~7 line が case 2 より僅かに流速が低下している。

これらは中渡島一部の改良したことにより, 順流域が中渡島寄りにその幅を拡げるとともに流れが引き寄せられる結果, このような現象を生じさせたものと考えられる。さらに地形改良によって局部的に流れが集中する H-9 においては, 測定水深 2 cm, 4 cm の平均流速が case 2 で流速 10 cm/sec また case 3 では流速 21 cm/sec となり, 約 2 倍の増速を示す地点が新に出現する。

中渡島より形成される後流の領域に入っている 9 line における流速, 流向は, case 1, 2 と同様に複雑な様相を示している。その他の水域における流況は, 総体的に case 2 と似た傾向を示している。

流速鉛直分布の測定は case 1, 2 と同じ位置で行ないその結果を図-18 の各図に示している。

流入地点における A-7 では, 測定水深の各層で流れの性質は case 2 と変わらず分布からも明確である。

D-9 においては中渡島の一部を改良した部分が 9 line に位置しているため, この D-9 付近でもすでに改良効果が徐々に現われ, case 1, 2 にくらべ流向が左寄りとなっている。これは中渡島北方の流れの分岐点が case 3 で南に寄ったことと関係しているであろう。

F-8 では流速分布の傾向は case 2 と似ているが, 底層付近の流速が case 2 より case 3 では僅かに減少している。

H-8 は中水道の最狭部に位置し中渡島の一部の改良によって表層付近の流速が case 2 より減少し, 底層付近との流速の差が消えている。しかし, case 2 にくらべ

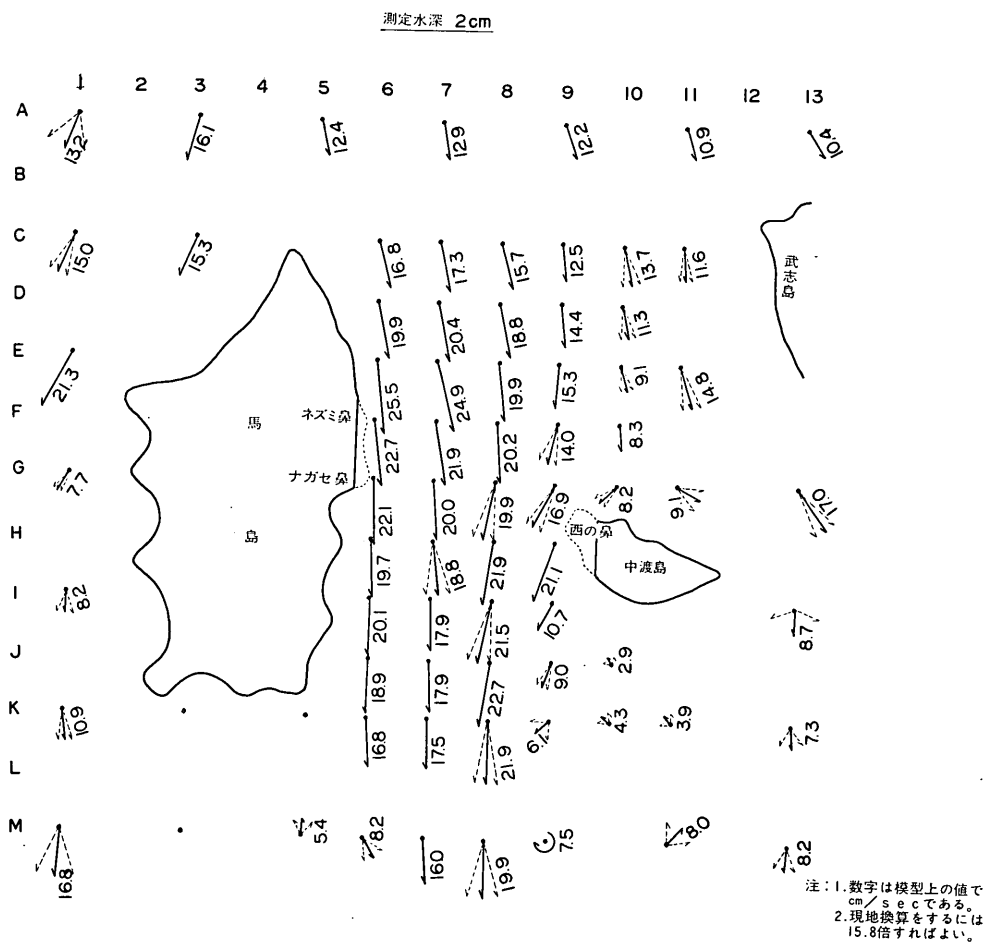


図-17.3 流速流向ベクトル表示図 (case 3)

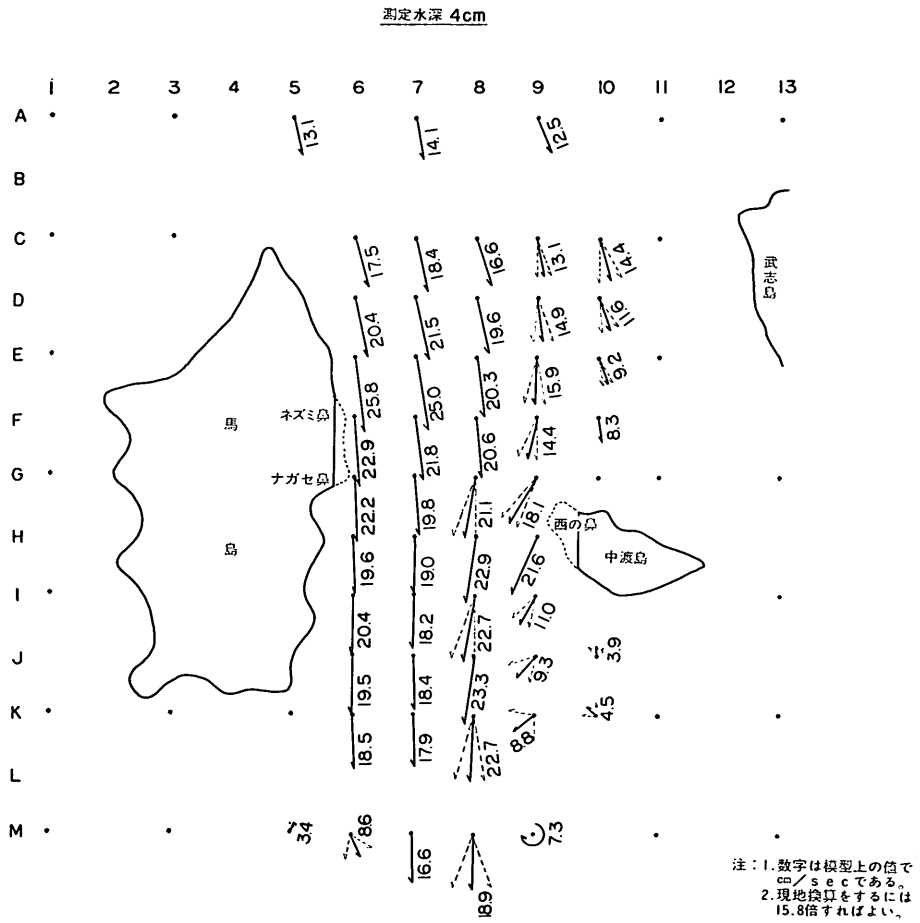


図-17.2 流速流向ベクトル表示図 (case 3)

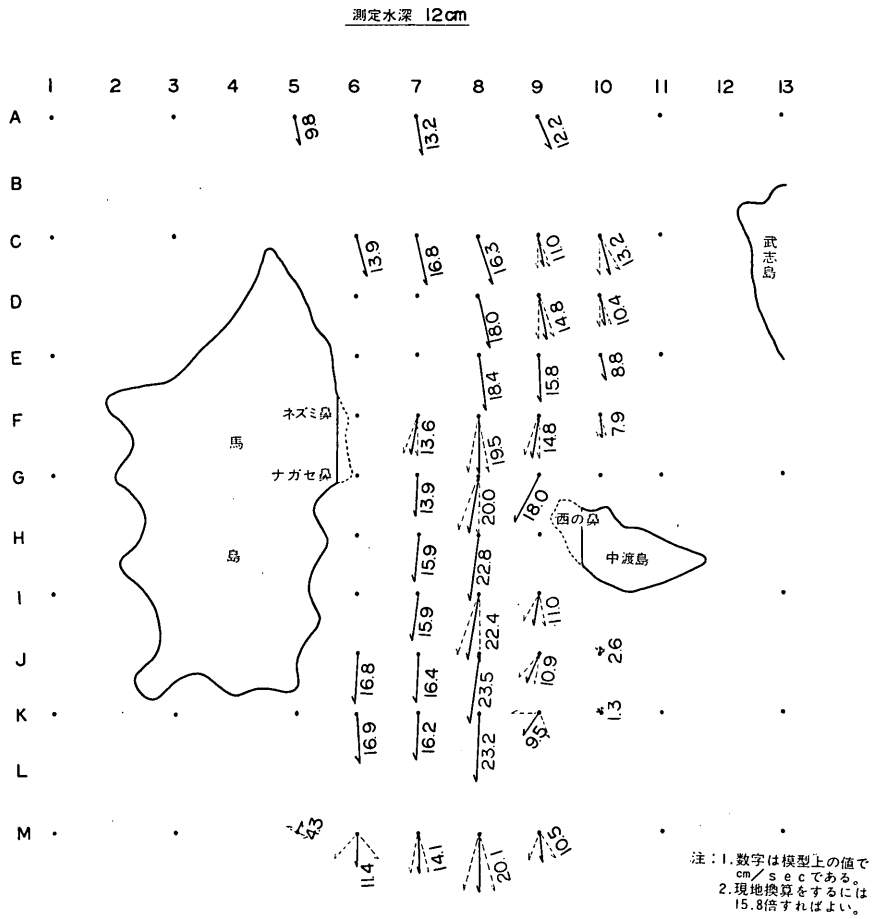


図-17.1 流速流向ベクトル表示図 (case 3)

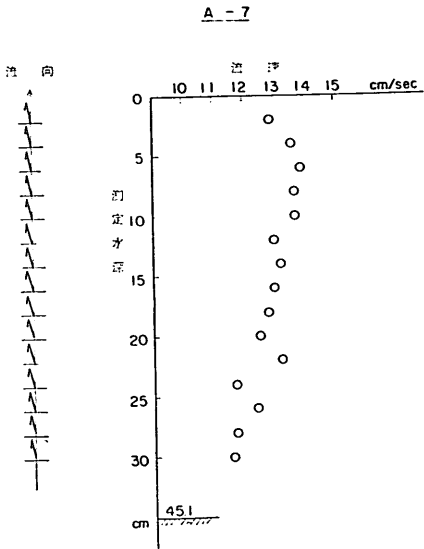


図-18.1 流速鉛直分布図 (case 3)

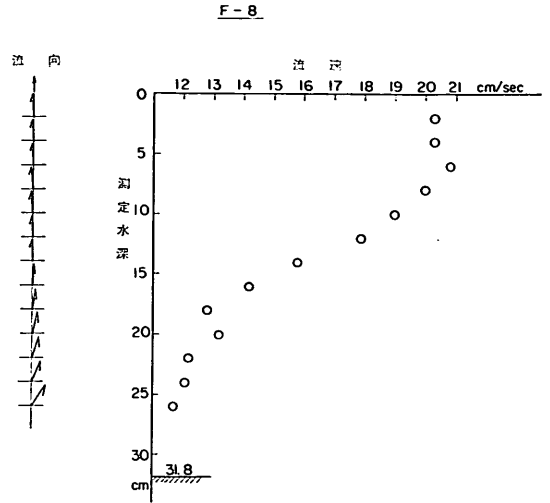


図-18.3 流速鉛直分布図 (case 3)

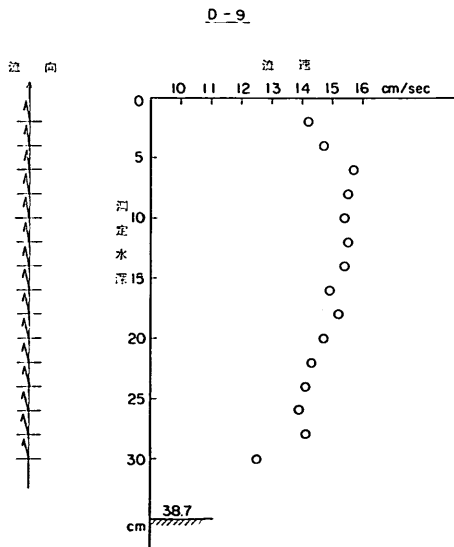


図-18.2 流速鉛直分布図 (case 3)

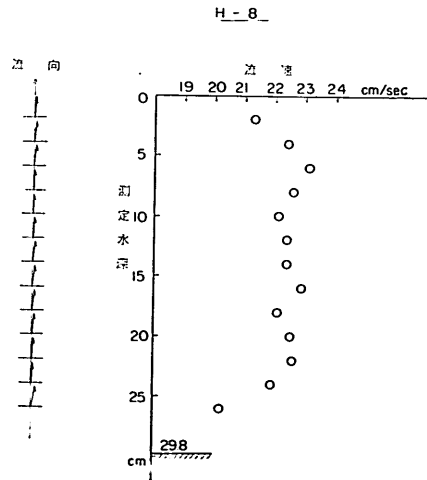


図-18.4 流速鉛直分布図 (case 3)

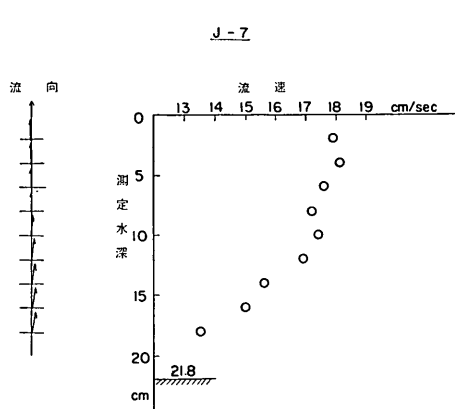


図-18.5 流速鉛直分布図 (case 3)

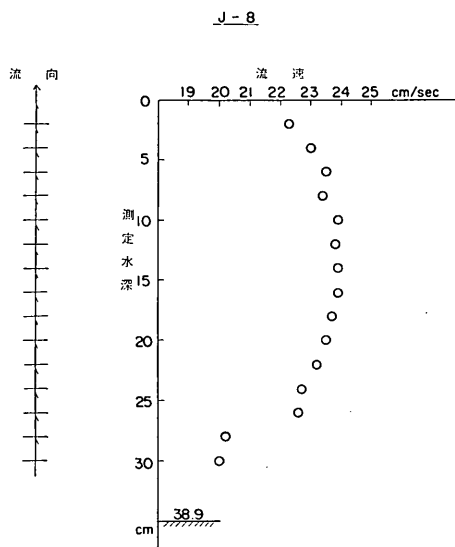


図-18.6 流速鉛直分布図 (case 3)

測定値に散乱が現われ乱れが多少強くなっている様相を示している。

次に J-7 においては前述した case 2 より測定水深の各層で流速が約 10% 低下し、分布にも直線的な傾向が現われているが流向は case 2 と似た様相を示している。

J-8 では流速値の散乱が消え滑らかな曲線を描き、流れの方向も直進する傾向が水深各層にみられる。

M-8 では水深各層における流速が case 2 にくらべ約 10% の増大を示し、前述した中渡島西の鼻より形成される後流の影響を受けているものと考えられ、流向にも多

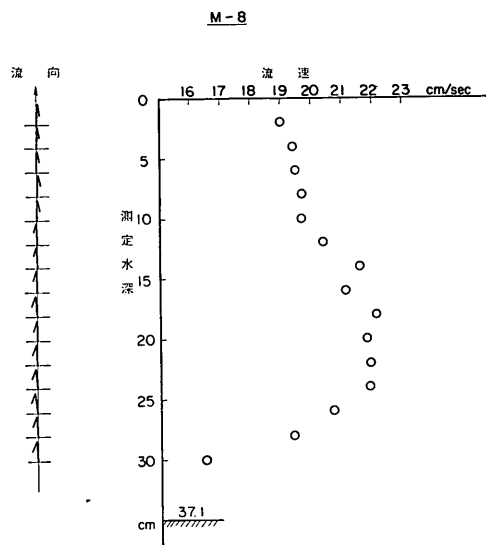


図-18.7 流速鉛直分布図 (case 3)

少その傾向が現われ乱れの減少はみられない。

馬島側 u, v 成分の水深 2cm の測定結果を図-19 の各図に示している。

この case 3 での測定結果は case 2 と似た傾向をみせており、中渡島一部を改良した効果がこの周辺における流れに及ぼす影響はなく問題とならない。

中渡島側 u, v 成分は図-20 の各図に示している。

まず G' 測線では測定水深 2, 12cm を case 1, 2 と同様それぞれ表層、中層とすると、図から明らかなように中層の u, v 成分は直線的な分布を示し、流線が平行で右寄りであることを示している。一方表層の v 成分は中渡島に近くなるにつれ漸増しており、これは島の影響を受けて次第に右寄りに流れの方向を変えていることを示している。表層、中層の u 成分は似た性質をなし case 1 より 5cm/sec の増速を示しているが、特に G'-9~5 から 9~6 の間は剝離現象が生じ攪乱領域となっている。

H測線における表層の u 成分は島に近づくにつれて漸減しているが、H-9~2 から急激に変化しているのは改良地形による影響であろう。また中層の u 成分は図からわかるように H-8~0, 8~1 付近がやや速く 22cm/sec を示し、両側の測点に行くにしたがって次第に減少している。このH測線上の流れは沖側および島寄りの中層流が表層流よりも減少している。この現象は case 1 と逆の結果となっている。流向は表層、中層とも島に近づくにつれ正の向に大きくすなわち、島の影響を受けて右寄りになっていることがわかる。剝離現象は前測線 G' と

D' 測線

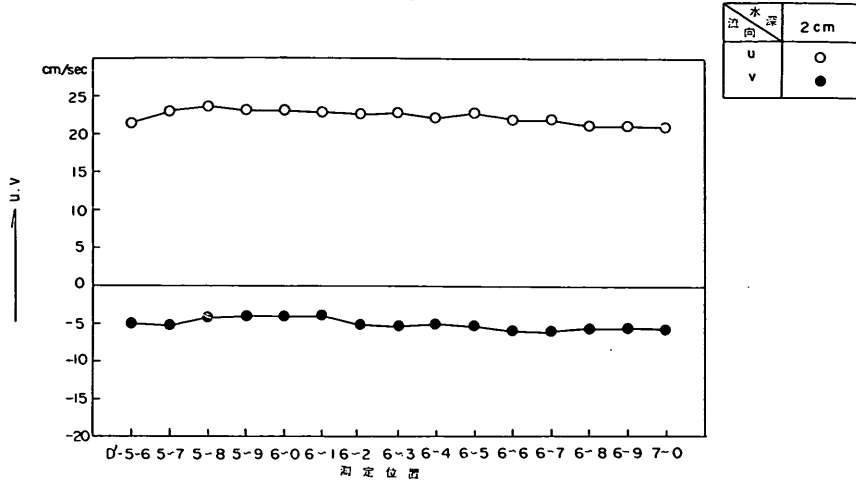


図-19.1 馬島側 u, v 成分 (case 3)

E 測線

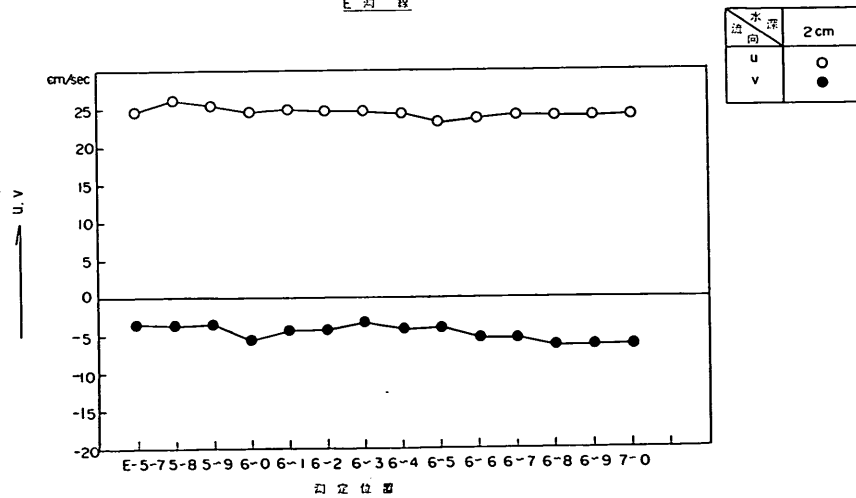


図-19.2 馬島側 u, v 成分 (case 3)

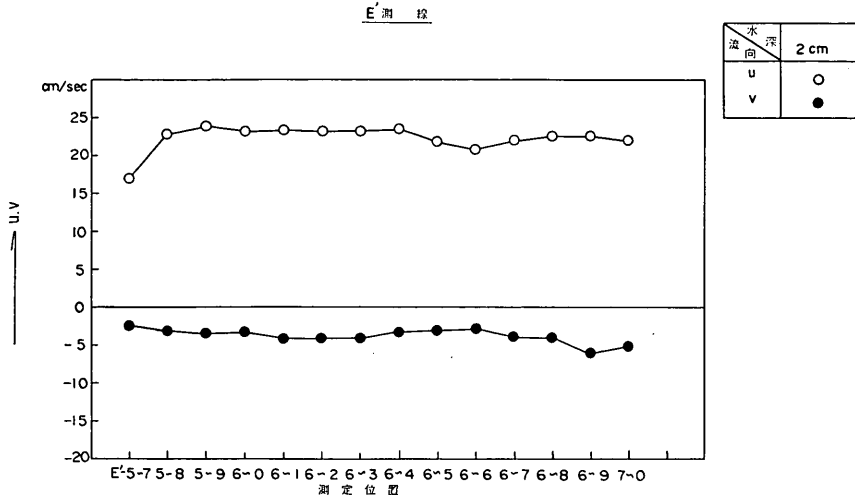


図-19.3 馬島側 u, v 成分 (case 3)

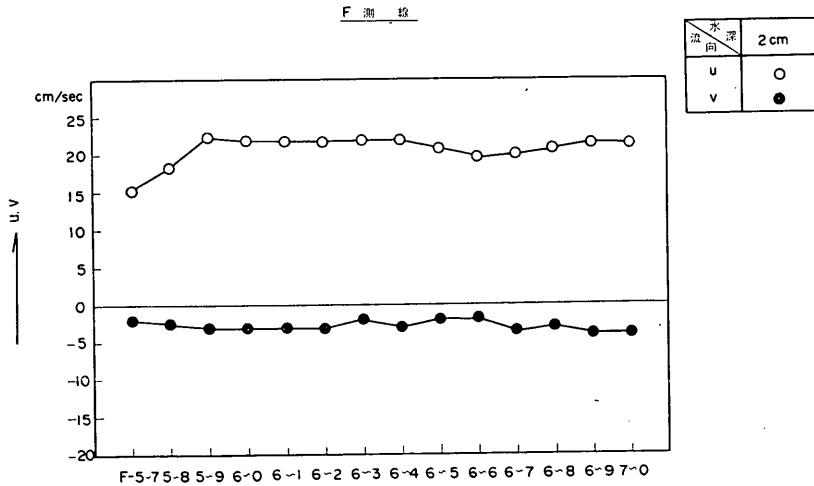


図-19.4 馬島側 u, v 成分 (case 3)

F' 測位

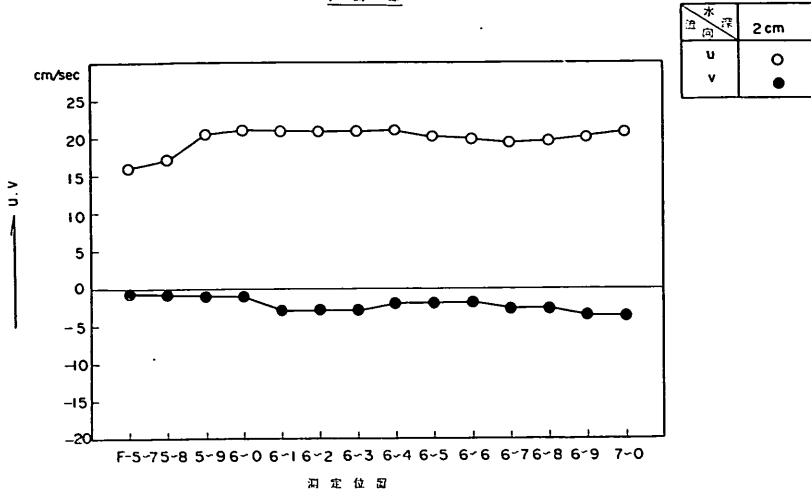


図-19.5 馬島側 u, v 成分 (case 3)

G' 測位

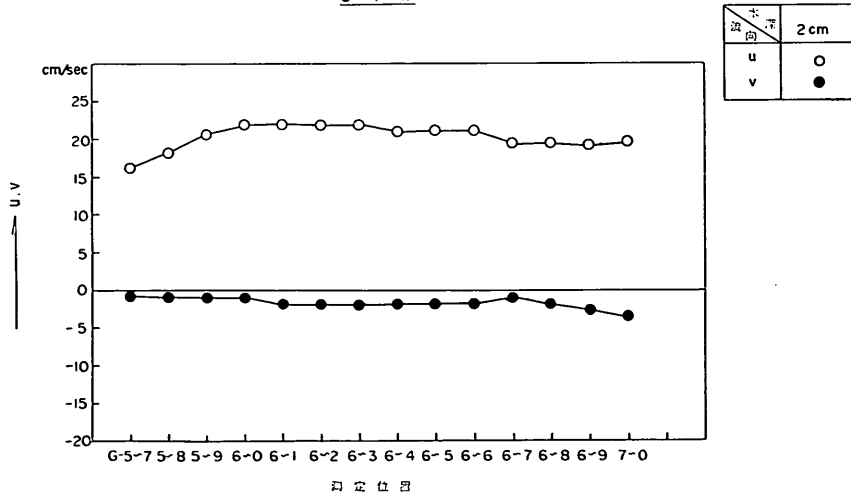


図-19.6 馬島側 u, v 成分 (case 3)

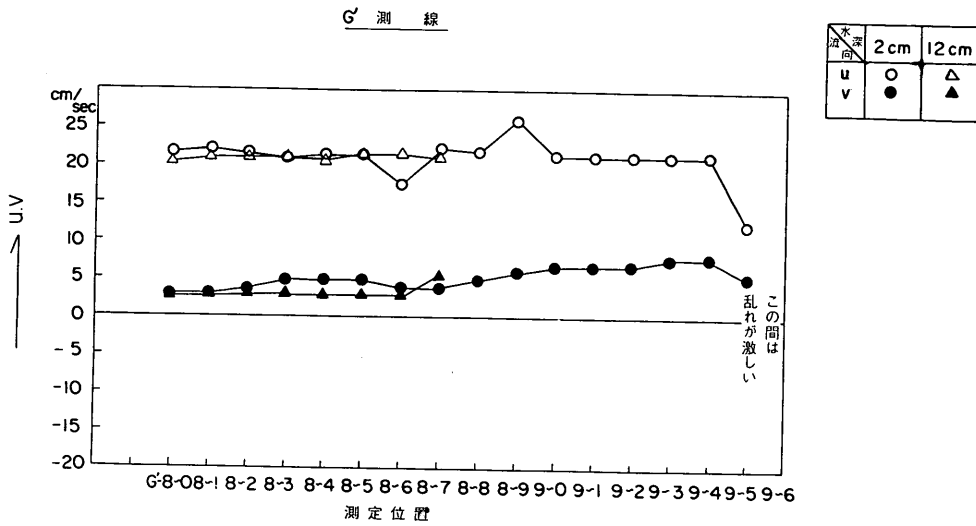


図-20.1 中渡島側 u, v 成分 (case 3)

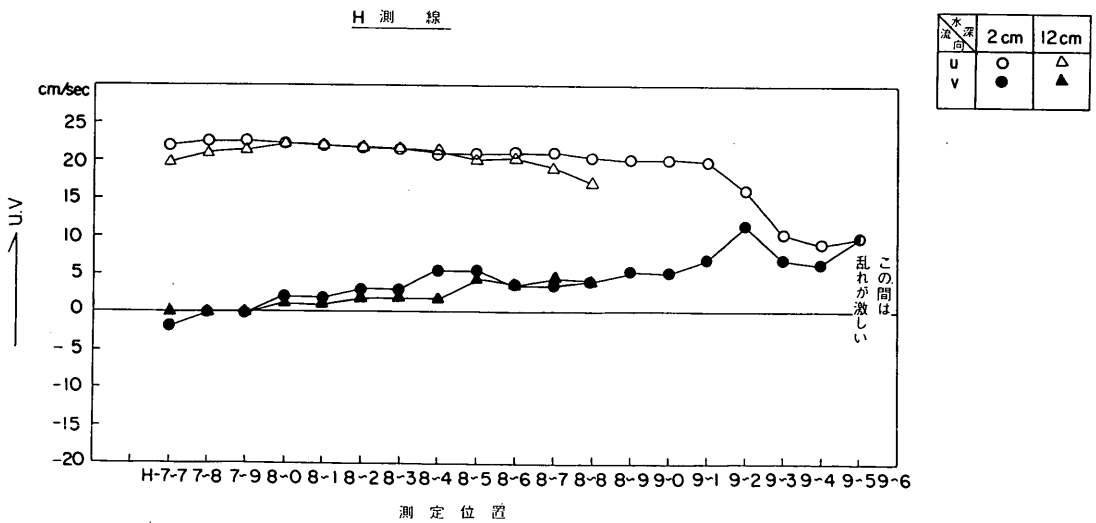


図-20.2 中渡島側 u, v 成分 (case 3)

H' 測線

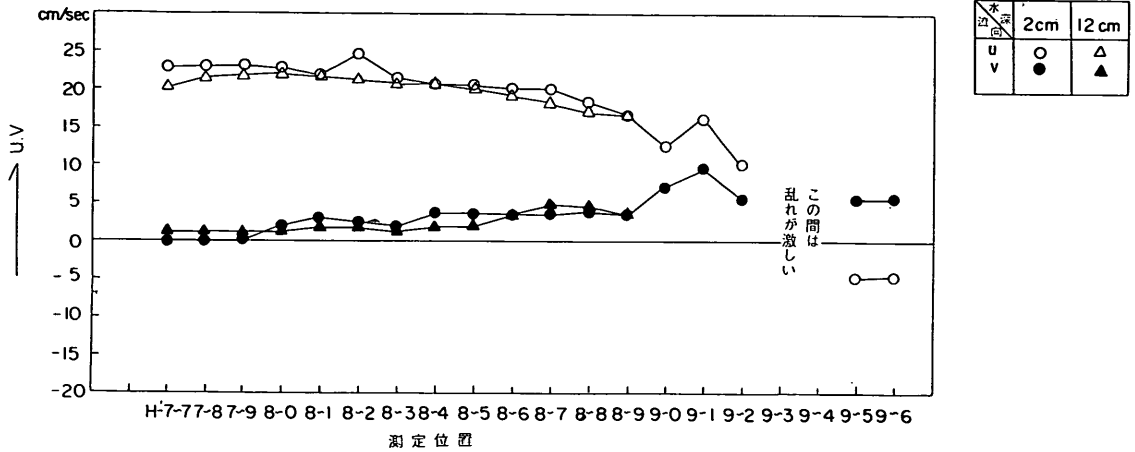


図-20.3 中渡島側 u, v 成分 (case 3)

I 測線

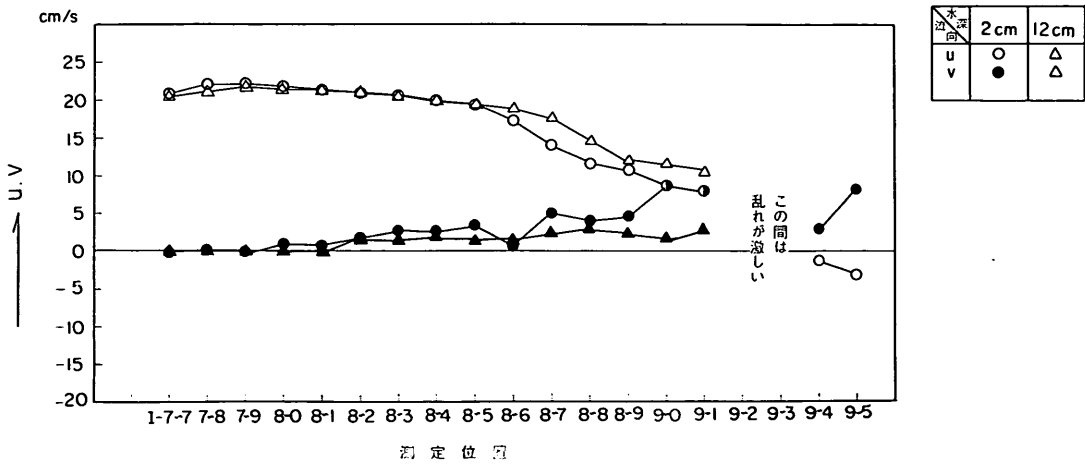
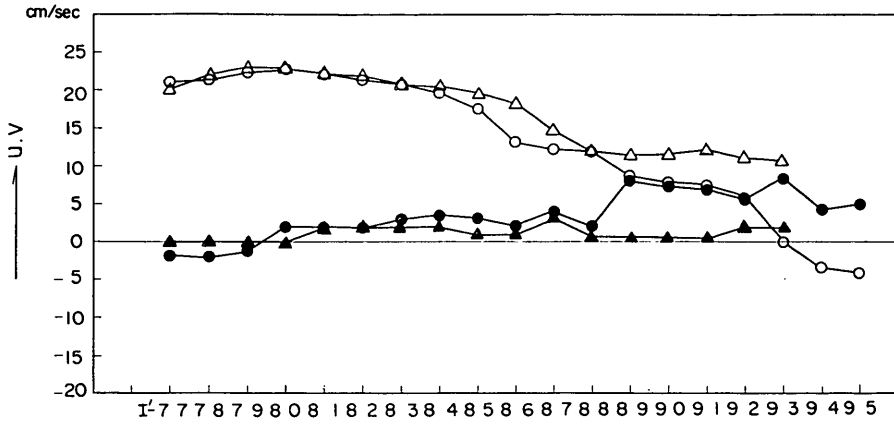


図-20.4 中渡島側 u, v 成分 (case 3)

I' 測 線

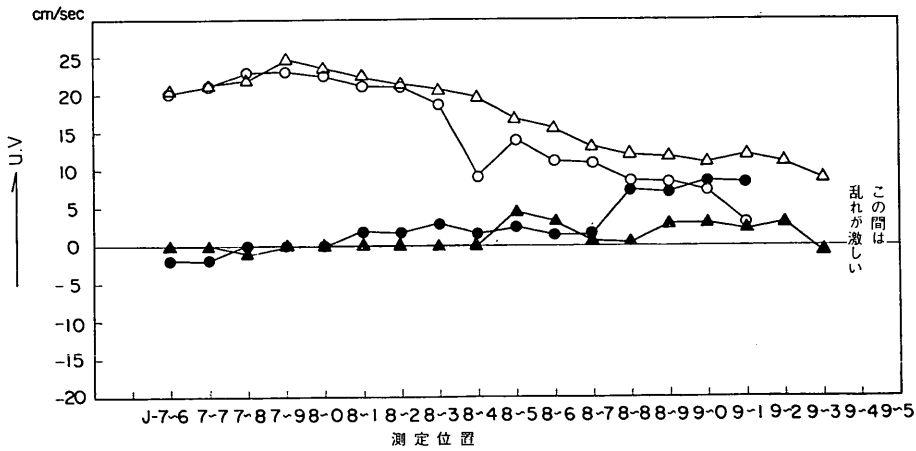


水深 2cm	○	△
水深 12cm	●	▲
u	○	△
v	●	▲

測 定 位 置

図-20.5 中渡島側 u, v 成分 (case 3)

J 測 線



水深 2cm	○	△
水深 12cm	●	▲
u	○	△
v	●	▲

図-20.6 中渡島側 u, v 成分 (case 3)

同じように 9~5 から 9~6 の間に生じており、それほど大きくはない。

H'測線の u 成分をみると表層は中層よりやや大きく、図から明らかに整った曲線形状をなしている。 v 成分は表層、中層とも 5 cm/sec 以下で前測線と同様島に近づいたが右寄りの傾向が強く、しかし case 1 より小さい値を示している。そこで流速、流向とも H'-9~0 で急激に変化しているのは、改良地形による影響でこのような現象が現われたものと考えられる。さらに攪乱区域は H'-9~2 から 9~5 の間で 15 cm の幅となっている。

I, I' 測線では図から明らかに両測線とも似た性質を示している。 u 成分では表層、中層とも 7~7 から 8~4 付近までは同じ傾向を示しているが、8~5 付近から急に減少し、表層が中層より 2~3 cm/sec の低下を示していることが明らかである。I' 測線の v 成分で I'-7~7, 7~8, 7~9 が -2 cm/sec を示し、やや左寄りの流れが生じていることを示している。しかし、大体の傾向は攪乱区域に近づいたが次第に右寄りになっている。攪乱現象については I 測線で I-9~1 から I-9~4 の間 15 cm また、I' 測線では I'-8~9 から I'-9~2 にかけて v 成分が急激に変化し乱れの大きい領域になっているものと考えられる。

J 測線の u 成分は沖方の測点 J-7~6, 7~7, 7~8 を除くと中層が表層より明らかに速くなっている。しかし、その流速差は case 1 よりも大きくはない。 v 成分は J-7~6, 7~7 で表層は -2 cm/sec の値を示し、前測線 I' と同様左寄りの流れとなっている。さらに J-8~8 から急に変化しているのは、中渡島における拡幅増深の影響がこのような現象を生じさせたものと考えられる。攪乱区域は表層では J-9~2, 3 の間幅 15 cm また、中層では J-9~4 を中心に幅 10 cm となっており表層の方が広がっている。

以上から中渡島の一部を改良した結果その周辺に及ぼす流況について言えることは、順流域における u 成分は case 1 より 2~3 cm/sec 速くなっているがその差は case 2 より小さい。さらに順流域の v 成分は沖方の速い部分において、表層、中層ともにほぼ 0 に近い値であり、 u 軸方向に流線が向っていることを示し、沖から順に攪乱区域に近くなるほど v 成分は次第に増して右寄りになる傾向を示している。

攪乱区域は中渡島西の鼻の cut が水深 20 m 以浅であるため、表層付近はその効果が現われて case 1 より約

20 cm 左側に移動している。しかし、水深 20 m 以深ではそのままの海底地形であるため、攪乱区域に準ずる程度の乱れの大きい区域が形成しているものと思われる。

6. 考 察

一連の実験から渦流緩和対策として地形の改良を施した場合、中水道における潮流変化の状況を知ることができた。

そこで潮流に対する地形の改良効果を平面および海底の形状によって生ずる流況の変化について検討を加えることにした。

6-1 実験結果の考察

この模型実験から得られた結果より、流況の変化について実験 case 別に検討すれば次の如くである。

(1) u, v 成分

ここで述べる流速の u, v 成分は、地形の改良によって最も影響を受けると考えられる代表断面 F, G, H, I について、各 case 別の測定水深により u, v 成分を図-21 に示し、流速、流向の具体的性質を知るためのものである。

それにもついで地形改良が及ぼす結果を検討すると、まず F 測線における u 成分は測点 7 で測定水深 2, 4 cm の流速が現況において約 25 cm/sec を示したが、case 2, 3 では流速 21 cm/sec と減少している。さらに測定水深 12 cm でも現況流速 19 cm/sec が case 2, 3 で流速 13 cm/sec となり測定水深によって流速の減少が異なる。

次に case 1 にくらべ流速の増加がみられる case 2, 3 の F-8, 9, 10 では、特に F-8 において流速の増加が著しく約 30% の増大率を示している。

v 成分においては馬島側 F-7 が case 1 で右寄りの傾向を示しているが、case 2, 3 で左寄りに流向を変えている。また F-8, 9, 10 では地形改良の影響はみられず、case 2, 3 は case 1 とほぼ同様である。

G 測線では、総体的に流速は増速し、特に馬島側 G-6 は case 1 における流速 6.5 cm/sec が case 2, 3 で流速 22 cm/sec となり 3.4 倍に増大している。また G-8 における流速の増加は G-6 ほど甚しくないが、F 測線と同様に他の測点にくらべ case 1 よりも case 2, 3 で増速している。

流向においては case 1 で全般的に右寄りとなっているが、case 2, 3 における馬島側 G-6, 7 では多少左寄りの傾向を示し、中渡島側 G-9, 10 は case 1 より case 2, 3 でさらに右寄りの傾向が強くなっている。

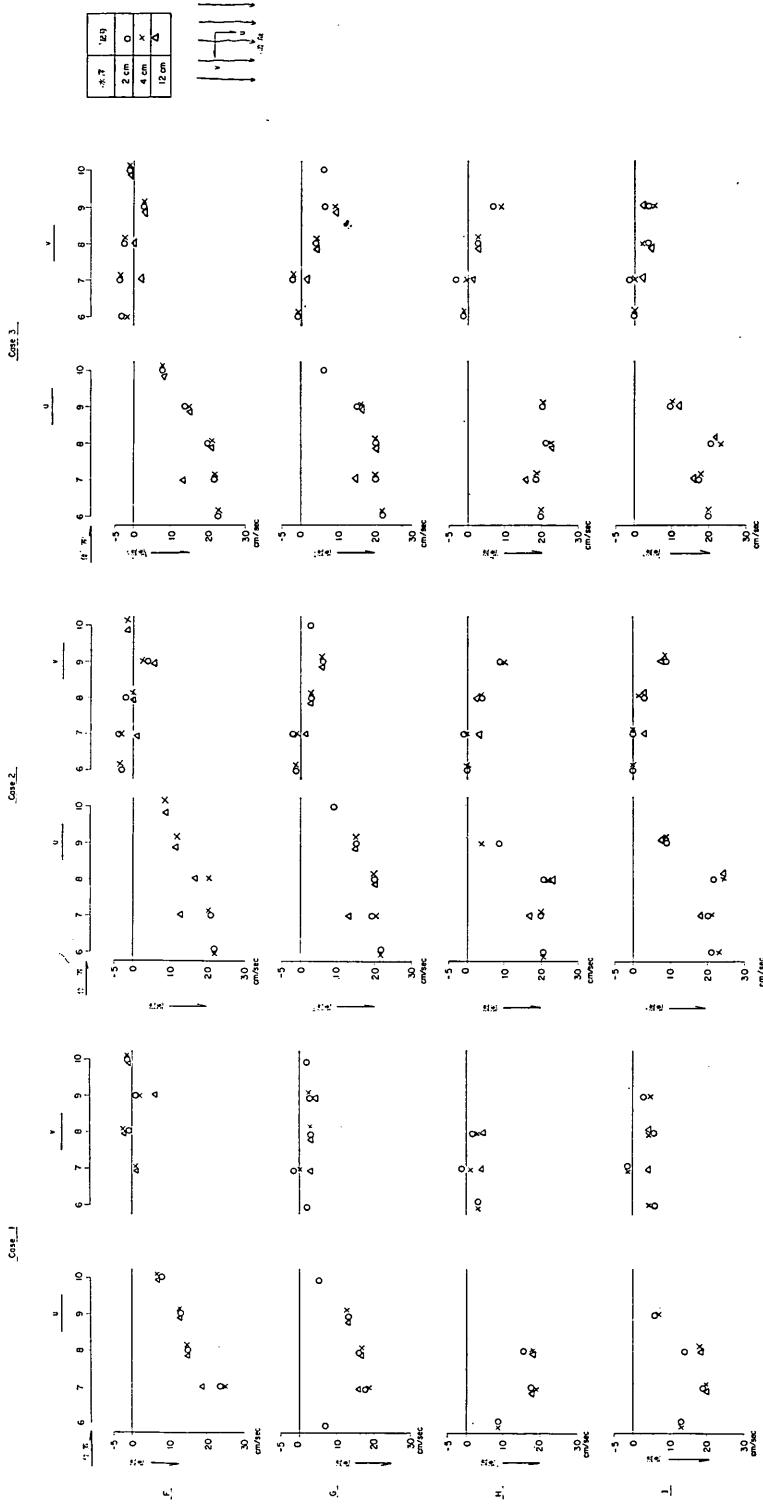


図-21 case 1 別の u, v 成分比較図

H, I 測線では u, v 成分において両者とも似た傾向をみせており、特に馬島側の H, I-6 では測定水深 2, 4 cm における流速の増加が著しい。この測点 6 line において case 1 の流速が G, H, I 断面で異なっているが、地形改良の結果 case 2, 3 での流速値はほぼ一致している。さらに H, I 測線においても H, I-8 は case 1 にくらべ流速の増加が現われている。

流向は case 1 で全体的に右寄りの傾向を示していたが、case 2, 3 における H, I-6, 7 の流れは下流に向けて直進する傾向を、また H, I-9 より H, I-10 にかけて case 1 よりも case 2, 3 はさらに流向を右寄りに変えている。

以上の流速分布曲線から地形改良を施す水域での流速、流向の変化が明らかで、特に馬島側ムクリ地点の浅部を除却し、この水域の水深が -20 m となって効果が顕著である。

(2) 流速変化

地形改良後の流速変化を試験区域内における断面で変化の著しい測点を選定し図-22 に示した。

なお、図の横軸には測点を縦軸は現況における流速に対する比を示し、実験 case 別に測定水深 2 cm, 4 cm について無次元表示した。したがって $u_i/u_0 > 1.0$ は現況より増速を $u_i/u_0 < 1.0$ は減速したことを示す。

まず C 測線では、case 2 の測定水深 2 cm で C-9, 10 付近で約 5% 以下の減少率であり、その他はすべて 10% 程度の増速を示している。

次に D 測線においては、case 2 の測定水深 2 cm で僅かに減少する箇所が現われるが、それ以外はすべて増速を示し特に測点 8 における分布から明らかに case 2, 3 は case 1 に対して大体 25% の増大率を示している。

E 測線については、ムクリの浅部を除却した効果が徐々に現われ、乱れが消失した結果が E-7 以外は増速を示すが、特に E-6 および E-8 では流速比 1.24~1.33 を示し増速が著しく、E-6 の流速の増大は地形改良部の上流側においてすでに改良地形にともなう流れの効果が現われていることがわかる。

さらに F, G 測線の各 case は両者とも似た傾向をみせており、地形を改良した効果が明確に現われ、拡幅増深されて岸側の F, G-6 では case 1 にくらべ 3 倍以上の増速を示す。F 測線 F-7 でやや流速が減少して現況より明らかに、すべて地形改良の結果流速は増加していることは注意すべきである。これはムクリ地点の浅部の乱流域が消え、流れが整流されたことを意味し、改良の

効果を示している。図-21 の流速分布曲線を見ても明らかである。

H 測線においては、総体的に増速を示すが中渡島側の H-9 では、case 3 の増速が著しく測定水深 2 cm, 4 cm で case 1 に対し流速比 2.6 を示し、地形を改良して増深した効果が大きく現われている。流れの方向は case 2 と同じくやや右寄りとなっている。

I 測線では、H 測線と似た性質をなし I-9 の流速は case 1 にくらべ case 2, 3 で増加しているが、H 測線におけるほどは甚しくない。馬島 I-6 では地形改良部下流にあたる I 測線においても case 2, 3 が十分増速されている。I 測線における流向については、前述した case 1 では全体的に右寄りとなって I-6 の流れが馬島に沿うように流れているが、case 2, 3 での馬島よりの I-6, 7, 8 の流れは直進する傾向を示している。

次に J, K 測線については、前述したようにこの付近は中水道の最狭部を流下した流れが最も加速されている水域であり、流速比の分布よりわかるように測定水深によって case 1 に対する case 2, 3 の流速の増減が異なり、J, K-9 の流れは中渡島より形成される後流の領域に入っているため、流れは非常に複雑な様相を示している。

最終測線 M での M-6 では case 1 に対し case 2, 3 の流速は減少し、M-8 では流速比 1.2~1.7 と増速している。M-6 では約 40% の減少率を示している。これは流線図からも示されるように case 1 の場合の流線にくらべ case 2, 3 では、流線が右寄りの傾向を示さず馬島の影響による後流域が M-6 に近づいたためであろう。

(3) 流向変化

これは局部的に発生する渦流を減少させる方法として地形を改良した場合、現況に対比して改良した case について流速変化と同じ断面の測点を用い、各点における流向変動量の増減率を図-23 の各図に示した。なお変動量は、前述したように流速計の後部に取り付けられている尾翼の振れ角度の最大値を、流速測定時間内に流速計上部にある分度器により目視し、その平均値を水平方向の変動幅としている。

C 測線では、C-6 から C-9 にかけて case 2, 3 は case 1 よりも変動が減少し、また逆に C-10 では case 2 の測定水深 4 cm 以外は 1.2~1.6 倍に流向変動量が増大している。

次に D 測線においては、各 case とも D-7 では減少しているが、D-10 で増大しそれ以外の測点では、増減の

C 測 線

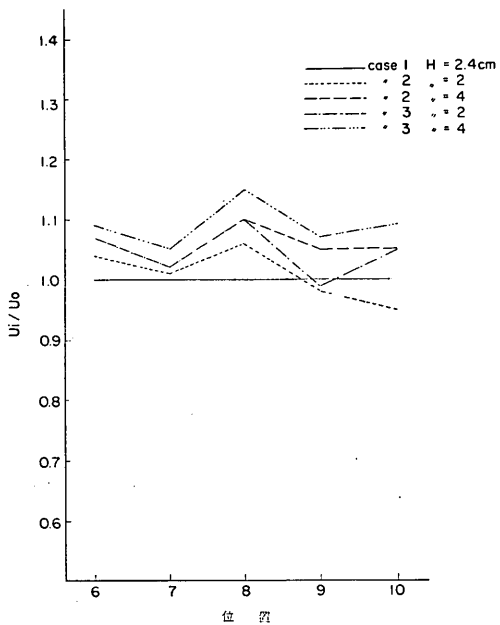


図-22.1 case 別の流速比

E 測 線

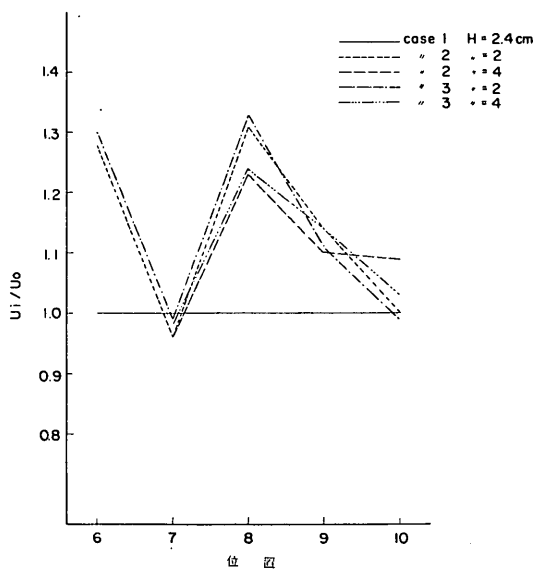


図-22.3 case 別の流速比

D 測 線

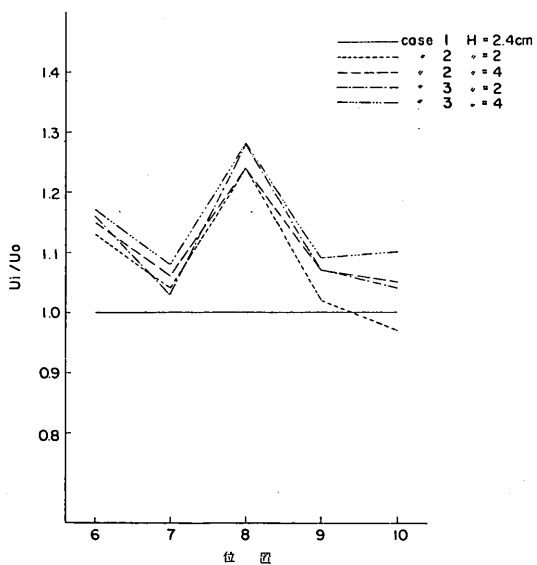


図-22.2 case 別の流速比

F 測 線

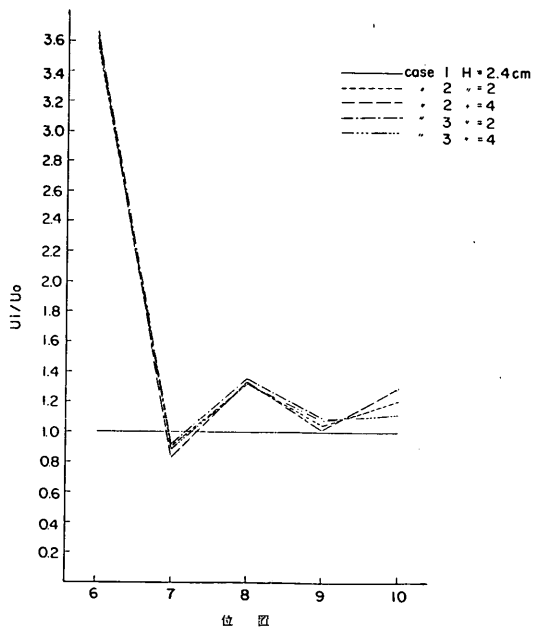


図-22.4 case 別の流速比

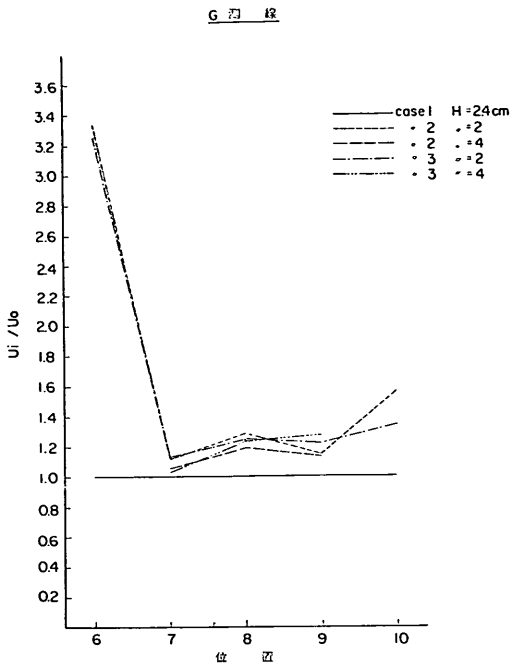


図-22.5 case 別の流速比

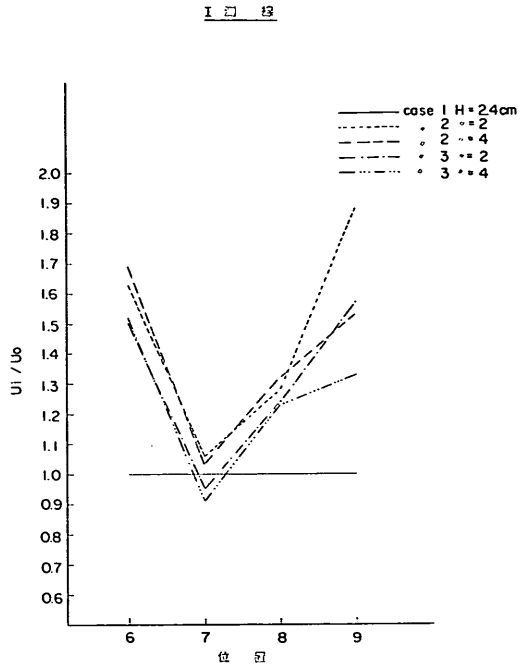


図-22.7 case 別の流速比

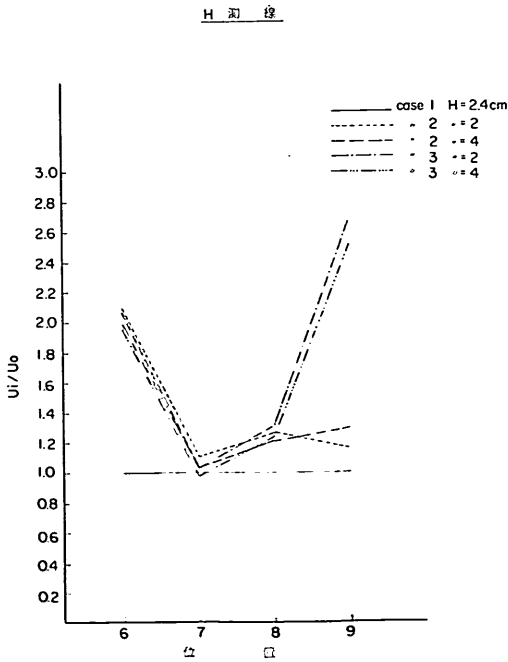


図-22.6 case 別の流速比

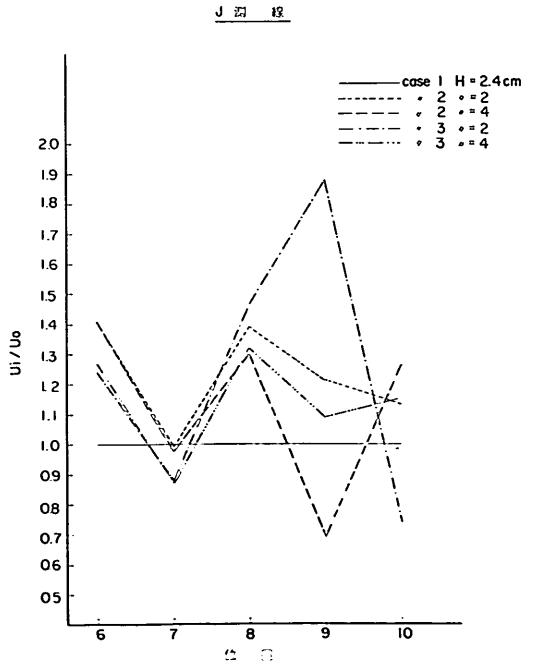


図-22.8 case 別の流速比

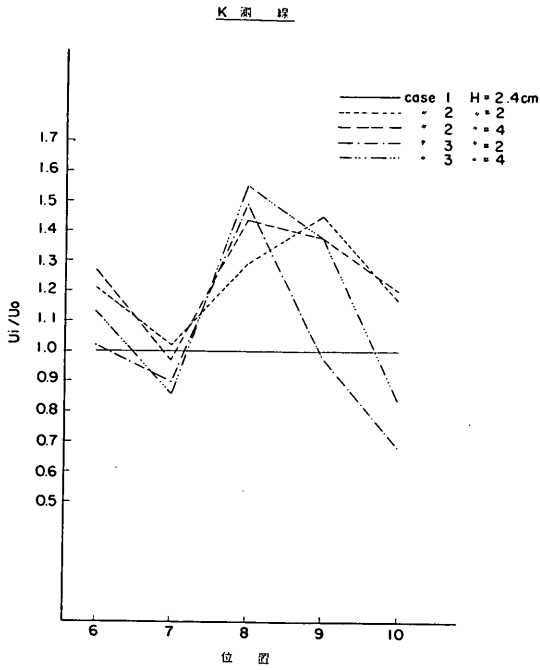


図-22.9 case 別の流速比

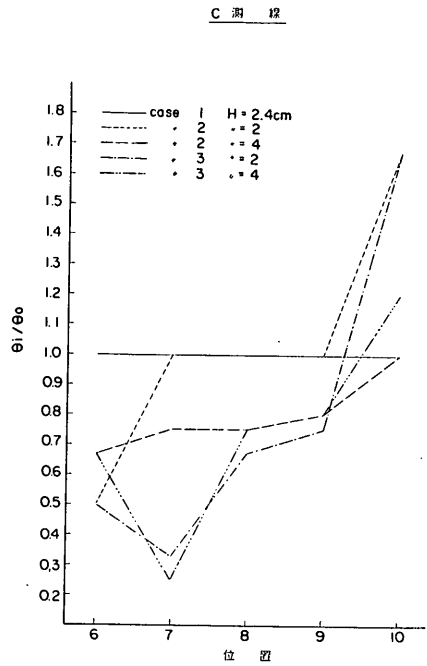


図-23.1 case 別の流向変動比

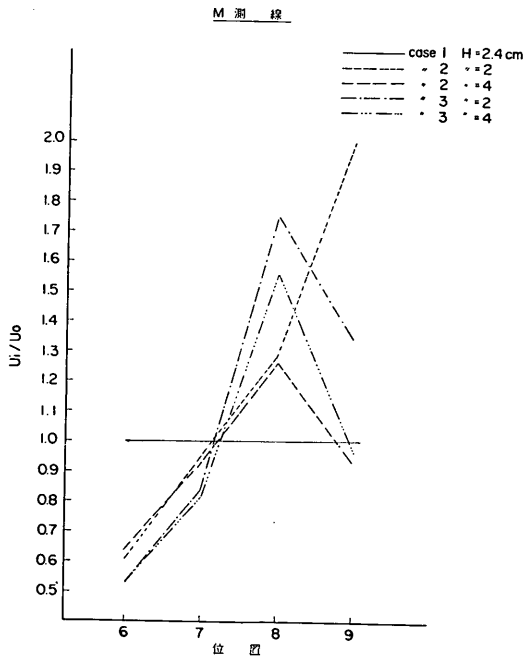


図-22.10 case 別の流速比

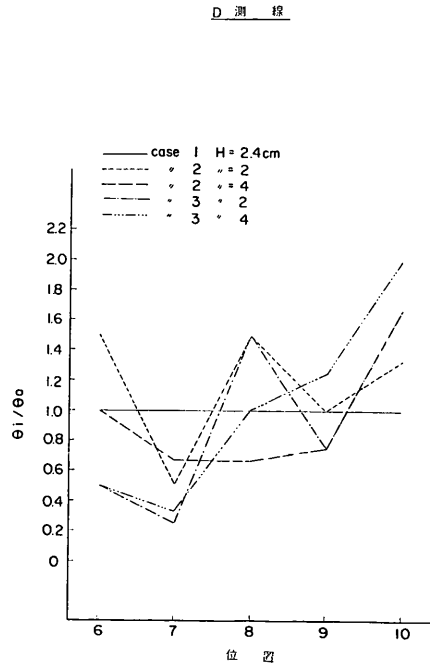


図-23.2 case 別の流向変動比

E 測 線

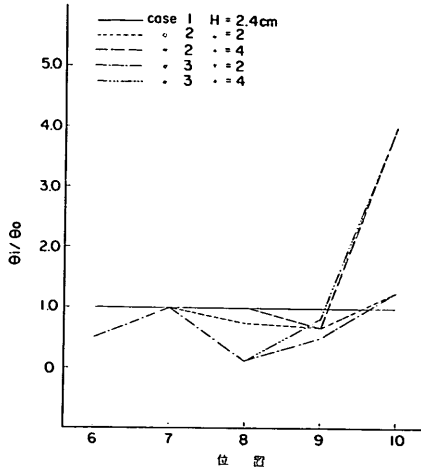


図-23.3 case 別の流向変動比

G 測 線

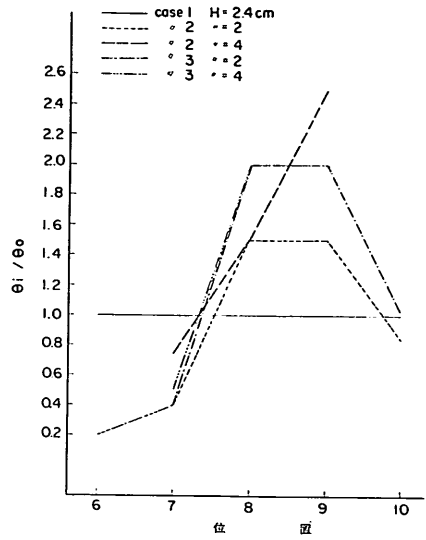


図-23.5 case 別の流向変動比

F 測 線

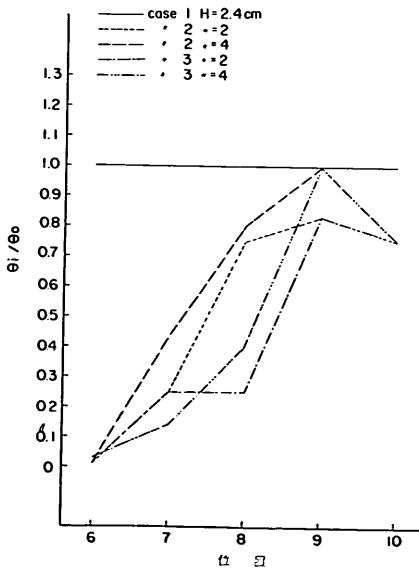


図-23.4 case 別の流向変動比

H 測 線

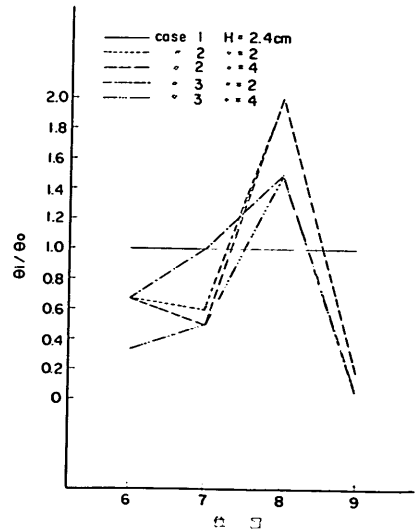


図-23.6 case 別の流向変動比

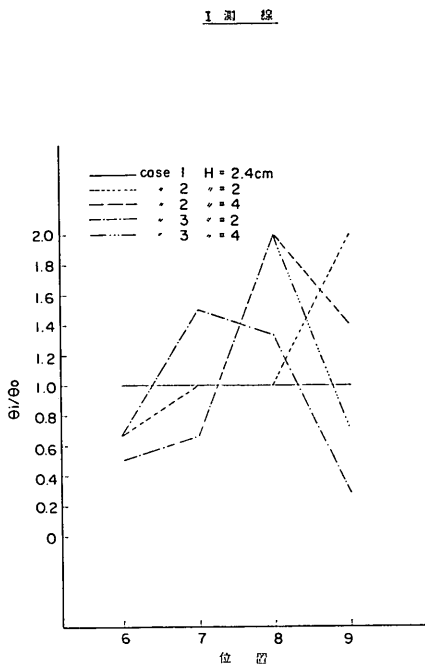


図-23-7 case 別の流向変動比

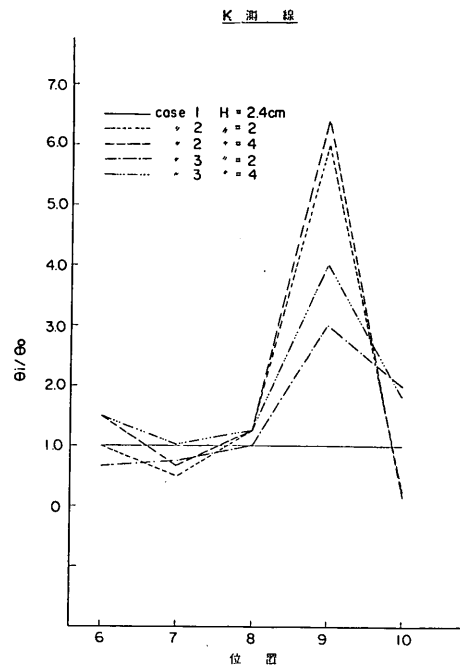


図-23-9 case 別の流向変動比

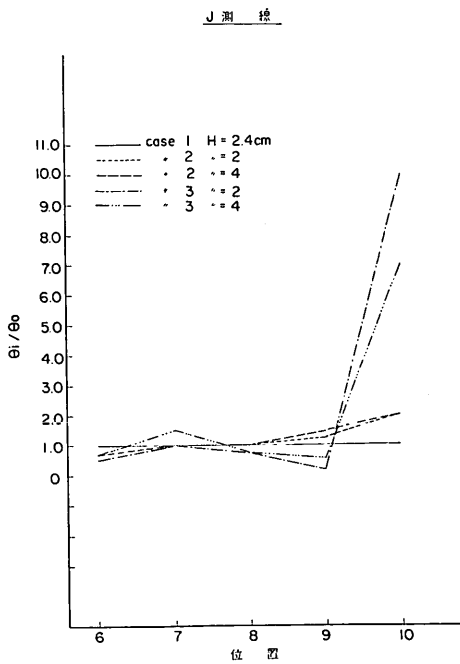


図-23-8 case 別の流向変動比

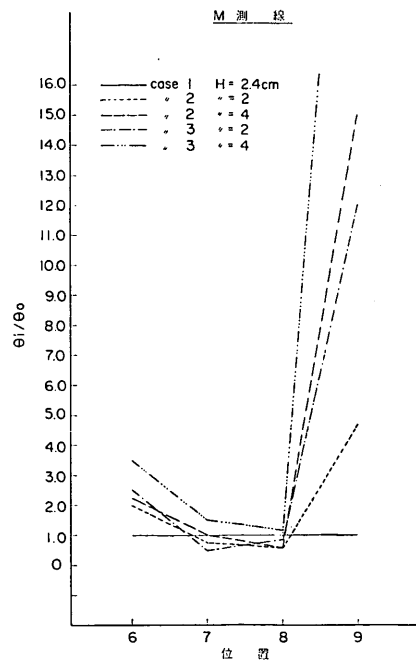


図-23-10 case 別の流向変動比

現象が生じ複雑な様相を示している。

E測線は馬島側の地形改良が徐々に効果を現わしてきているが、E-10で測定水深4cmの流向変動がcase 1に対し約4倍に達している。これはcase 1の測定においてこのE-10の流向変動が非常に小さかったためであり、case 2, 3の変動量が特に大きいわけではない。

F測線ではF-6, 7, 8での流向変動がcase 1に対して減少し、馬島地形改良の効果が現われている。特に馬島側のF-6, 7において顕著である。また中渡島側のF-9, 10においてもcase 1に対しやや減少の傾向がある。

G測線については、馬島側のG-6, 7で20~80%の減少率をまた水路中央部におけるG-8, 9は逆に各caseとも増大し、G-10では改良の効果は現われずほぼ現況と一致している。

中水道の最狭部におけるH測線は、前述したように流れが集中するところでH-8で流向変動比1.4~2.0と増大し、この測点ではcase 2, 3はcase 1に対し、平均流速の増大とともに流れの乱れも強くなったものと考えられる。しかしH-8以外は流向変動量は減少している。

I測線は、中水道の最狭部を流下した直後で流れ自体が加速の著しいところであるため、その影響が分布にも現われ同じ測点においても流向変動に増減が見られる。一般的傾向としては、I-6の流向変動は減少し、I-8のそれは増加している。I-9の流向変動比が散乱しているのは、それが中渡島から出る後流の領域に入っているからである。

J測線においては、J-10で測定水深が大きいほど変動量は増大する傾向であり、case 1より流向変動比にしてcase 2は10.0 case 3では7.0と増大が著しい。なおJ-10は中渡島の後流域にある。他の測点では多少の差異はあるが現況と大体同様である。

次にK測線は、分布からわかるようにK-9におけるcase 2がcase 3よりも測定した平均値で約2倍の増大率を示し、これらもまた中渡島の後流域での現象である。またK-10ではまったく逆の傾向が出現している。

M測線はM-7, 8はcase 1, 2, 3ともほぼ同じでかつM-6で流向変動比2.0~3.5を示し、前述したようにこの付近の流速はかなり弱く馬島ナガセよりの後流域がこの測点に接している。目測では時間的にも緩やかな変動をしているように見受けられた。さらにM-9では流向変動量が大幅に増大しているのは、中渡島西の鼻から発生するwakeの中に位置しているためであり、こと

に記述の各測線におけるものと同じである。

(4) 鉛直方向の流速分布

本実験における鉛直方向での流速分布はcase 1, 2, 3とも中層付近で最大流速を示すところがあり、場所的にその傾向が著しいのは、馬島ナガセと中渡島西の鼻を結ぶ断面の水平距離(450m)とその最大水深(90m)の比が1/5となり、このような水深が大きい断面を流下した後の各断面でその現象が生じている。これらはすでにcase 1, 2, 3の流速鉛直分布図に示した通りであり、特に代表断面M点における各caseの最大流速が測定水深20cm付近に現われており、表層流速は最大流速の70%位である。

一般的には単調な広矩形断面の模型水路では、表層流速が速く底層にしたがうにつれ減少し、その分布も緩やかな曲線を描き、また、粗度的な要素が大きくなれば粗度のため、比較的直線状の流速分布を示すことが過去の実験より明らかである。したがって、今回の実験結果が模型特有のものであるか、または現地においても現われているかを調べるため昭和46年3月26~27日の大潮時を選び、港湾技術研究所より宮原を現地に派遣し、第三港湾建設局松山港工事事務所の協力を得てフロートにより問題となった水域の流況観測をした。観測に使用したフロートの水深は5m, 10m, 20mの3種類で陸上から2台のトランシットによりフロートを追跡しその位置を測定した。2回行なった流況観測の結果は、水深20mが水深5mより流速1.10m/sec速くなっており、当水域の流れは実験とほぼ同じような結果が得られた。

この原因については、後述する水深が十分大きくまた平面的にも側壁の形の不規則なこの水道では、表面近傍の鉛直面内で水平方向に働く剪断応力が、有効に作用するためではないかと考えられる。

(5) 乱れについて

この実験における乱れの性質について予備的に測定した結果は、流入側の測点A-7では流速、流向ともあまり変動が見受けられないが、流出側の測点M-8では流速、流向の変動が甚だしく、測点A-7にくらべてturbulence intensityが2.3倍になる。これは中渡島より発生するwakeの影響も多少あると考えられるが、前述した複雑な地形による影響の方がより支配しているものと考えられる。そこで現地におけるA点付近での流れの性質について考えられることは、いろいろな島の間および種々な海底地形を通して流れてきているために、turbulence intensityの大きな流れとなっているであろう。しかし、

この実験においては樋頭水槽から流れ出た水は、整流装置を通してすぐ模型上に流出しているため、きれいな流れすなわち、乱れの強度、乱れの scale とともに小さくなっており、現地との条件がかなり異なっているため流れの性質に問題が生ずる。

(6) 要 約

以上の実験結果から一般的な傾向としては、馬島側の地形改良は中水道の潮流に良い効果が現われる。しかし問題となるのは流速が増加することであるが、これは地形改良した結果現況よりも case 2, 3 における水面勾配が減少し、粗度の要素が小さくなり流速が増大する。このような現象は実験目的から考えると乱流域は消失し、かつ前述の流向変化の分布からも観察される如く、流向変動幅は減少し馬島側においては整流の効果は大きい。一方、中渡島における地形改良の効果は局部的であり、特にこの位置においては cut の形状をどの様にするかが問題であろう。それは中渡島一部を改良した結果この付近に発生する wake の幅が目立って広くなる。したがって、流況のパターンは現況より複雑化してくる様相を示しており、中渡島における cut の形状には何んらかの方法を考えなければならない。

6-2 基礎的な事項についての考察

本実験に取り入れている試験区域は、現地において不規則な急潮流が最も激しい箇所である。そこで今回の水理模型実験より基礎的な立場から考察すると、

(1) 模型計画の立場から

この模型は、広矩形断面で主流が彎曲したり急変しない場合を基準として計画されている。

使用している方法は、高知港⁷⁾で底面粗度に Manning 粗度(通常は河川計画で使用される)を用い、具体的な粗度の決定には W. E. S¹⁾ の矩形断面の一樣水路での実験結果を使用している。

この実験では

- i) 主流は彎曲
- ii) その水道幅は複雑および大規模に変化
- iii) 海峡における水深は非常に大きい

以上の3点からこの実験においては、一樣な広矩形断面とは言いにくい。しかし、このような場合の粗度の取り扱いについては、現地の底面起伏についての詳細な知識をまず持ってから、模型計画を立てるのがよい。

また主流の彎曲、さらに島の側面からの剝離、あるいは接近は単純に模型に再現しようとする流れだけでは決定出来ず、より広範囲な全体的な流れを考慮して計画し

なければならない。

たとえば、西水道における馬島ウス鼻付近については、海上保安庁水路部発行の潮流図では、大潮南流時の主流は馬島ウス鼻から離れこの間は反流域が現われているが、実験担当者が現地調査した結果によると主流は馬島ウス鼻に沿って流れている。これは模型に完全に取り入れられてはいないが、小島と来島間の来島瀬戸からの潮流の効果により、主流が馬島ウス鼻の付近で馬島側に寄るためである。

また中水道の海底面の起伏については、神戸商船大学が来島海峡で渦流が船体に及ぼす影響について、実験的に船を中水道に航行させた時に行なった際の測深記録によれば、最大 40m に達する凸凹が見い出されている。水深 100m でこのような凸凹があることは、今まで広矩形断面の模型水路では考えられていなかったことであり、この場合単純に流れに抵抗を与える要素としてでなく、主流そのものの大規模な乱流構造にも関与していると考えられる。

(2) 流れの乱れ性質の立場から

平面的に非常に広い海域からこの海峡に潮流が流入しているため、相当大きな水平交換がある。

すなわち、大規模で強力な水平面内の混合現象のある流れとして、この海峡の潮流を考えなければならない。

たとえば、鉛直方向における流速分布の最大流速が水表面下 20~50m の付近に現われ、それより浅い部分の流速が上方に向かって漸減している現象も、表面付近で強力な水平交換の存在を考えてやると説明はつくことが出来る。そしてまたこの水平交換現象は、海峡付近の海岸からの流れの剝離および接着に大きな影響を持っているであろう。

次に乱れの強さについても模型実験では、十分整流されて模型の水域に流入するため、この実験の流入側 A-7 で $\sqrt{u'^2}/U=0.098$ である。

しかし実際の海峡ではたしてこの程度であるかは疑わしい。たとえば、この模型でも平面、鉛直の両地形の影響を受けた後の M-8 では $\sqrt{u'^2}/U=0.231$ となっている。この M-8 は中渡島西の鼻からの後流の近くに存在しているため、多少その影響があると思われるが case 1, 2, 3 とも流入域の A-7 に対して約 2.3 倍になっており、こうした錯雑した地形を通過後乱れの強さが増加していることを示している。

以上の結果は、このような海峡の模型では水平交換現象および乱れの強さの 2 点について、現地状況を如何に

して模型に再現するかが今後の問題である。

(3) 模型規模の立場から

この実験に使用した模型縮尺は水平 1/300, 垂直 1/250 で大体比率が 1.0 であるため、底面および側面からの渦の発生の方は比較的現地に近い。

しかし、流れの場の代表的な Reynolds 数については、 $Re = UR/\nu$ を用いて現地および模型で地形の規模より決定される代表断面(中水道の最狭部)から求めた結果によると、現地では $Re = 10^8$, 模型では $Re = 3 \times 10^4$ と大きく異なるために現地と模型では、相当生じている現象が違っているであろう。ことに small scale の現象においては、例えば不連続流の部分に生ずる渦列の減衰、あるいは小規模な陸岸突出部に沿う流線状態は相当異っていても仕方がない。

次に模型では表面の攪乱が現地よりも大きく現われる。模型の水域に流入する A-7 で最大振幅 8mm の水位変動を示し、これを現地に換算すると約 2m の水位変動となる。したがって表面の起伏を押さえるため実験では、流入側の整流板の先端で前述した水面変動防止板を設けているが、これが流れに多少影響しているものと思われる。しかしその影響も A 測線付近までと考えられ、この模型で使用した表面の攪乱を消す方法は比較的良好な結果を収めた。

さらに中渡島の後流に生ずる不連続流の状態は、模型末端の可動堰の調整によってその領域は現地と良く似ている。

(4) 模型計測の立場から

流向が時間的に変動する場合の測定方法は、測定器の応答性に問題がある。

現在では水平方向の可変式流速計による流向変動幅を平均し、その測定値を平均流向と流向変動幅として求めている。実際には変動する流向の時間的変化および流速との相関を求めなければならない。

底面付近における流況の測定は、粗度要素が大きい底面近傍の流れはその影響を受けて複雑な性質を持つためこれをよく調べる必要があるが現在のところ測定器の構造上の問題で不可能であった。

しかし、近年トランデュサーの開発が進み計器の小型が発表されている。たとえば、最近一部の水理実験においてホットフィルムすなわち電流を通した細い白金線が水の流れのため冷却し、その電気抵抗の変化を利用する方法があるが、現在水面内での利用は極めて少ない。それは模型実験のような大きい開水路では、水面内に不純

物が多く含まれているため電気的特性に今一つ不安感を与えている。当研究所の柴山が記述の事項に耐え得るような測定器の検討を考慮中である。

この方法が模型実験に使用できれば、この実験のような不連続流の乱れの測定にも可能である、乱れの速度変動を周波数の異なる多くの流れの和と考えると、各々の周波数に含まれるエネルギー分布を調べることが出来る。

流線の追跡については、模型面を暗くして球形プラスチックフロート ($\phi 5\text{mm}$ 比重 0.8) に夜光塗料で被膜したものに紫外線を与えフロートの動きをカメラに収めようと試みたが、紫外線ランプのみが写され今回は失敗に終わった。しかし写真撮影による流線の測定は、被写体から光を出させれば可能であることがわかったが、被写体の大きさが問題となり、流れに対して影響を及ぼさないよう考えなければならない。

そこで実験に使用した表面流線は、過マンガン酸カリで第4章で述べた方法により行なった結果追跡区間を短かくすれば比較的良好であった。

7. あとがき

この実験は来島海峡における中水道の南流大潮時に生じている不規則な急潮流の水理的性質を現況および航路を拡幅改良した場合について調べた。

特に地形を改良する地域における潮流の性質変化その他水理条件を実験的に把握する目的を持っている。

したがって、実験に必要な模型もこの付近を主体として製作し、さらに現地の状況を容易に再現させるために対象外の西水道および東水道の一部を設けている。

今回の実験結果より来島海峡のような複雑な地形の模型では、前述した水平交換現象および turbulence intensity の条件について、現地状況を如何にして模型に再現させるかが今後大きな問題である。

しかしながら、一連の実験から当水域の過流を減少させる方法または効果について検討すれば次の如くである。

1) 流線

現況では馬島ネズミ鼻付近のムクリ地点から発生する過流と中渡島西の鼻から形成される後流によって航路内の流線は不規則な様相を示したが、航路の拡幅増深により特に馬島側の流れは整流されて下流に向って直進する傾向を示した。しかし改良によって馬島ナガセ鼻より剝離現象が生じ下流水域で現況より順流域における流れ幅が狭くなっている。これはムクリの浅部を除却して-20

mの水深になり、その攪乱域が消失したことに關係していると考えられるが、模型と現地とは Reynolds 数に大きな差があるため、実際に現地でも模型同様の現象が確実に現われるとは言いきれない。

一方中渡島側は拡幅改良によって多少流線が島寄りに移動するだけで乱流域は消えない。

2) 流 速

地形改良によって航路内の流速は全般的に増大する傾向であるが、特に馬島側において岸寄りの流れが現況より約3倍以上の流速を示し、この現象は水深各層に生じる模様である。

さらに航路中央にも改良地形の影響で現況にくらべ約20%流速が増大している。これは模型のこの部分において乱れの規模が現地と比較して小さいため、水分子の混合が弱く流れに直角な断面内の流速分布の平均化がそれほど進まないためと考えられる。

次に鉛直方向における流速分布から最大流速を示す位置が、現況および改良地形後も水深 20~50m の付近で場所的には、中水道の最狭部の錯雑した地形を流れが通過した後の水域に著しく現われている。これは現地において平面的に非常に広い海域からこの来島海峡(中水道)に潮流が流入するため、大規模で強力な水平面内の混合現象のある流れとなって、相当大きな水平交換が表面近傍に存在しているものと考えられよう。

3) 流向変動幅

航路内における水平方向の流れの変動に関するものであり、現況と地形を改良した場合について流れの変化を検討すると。

総体的に馬島側の地形改良がムクリを除却した関係から乱流域が消え、流れが整流され直進する傾向となるため、現況にくらべ改良後の流向変動幅が 20~80% の減少率を示し効果は大きい。しかし馬島岸より沖方は島寄りの流れが拡幅増深によって増速される結果、多少流れが馬島側に引き寄せられ現況より僅かであるが変動は大

きくなる。また中渡島における地形改良は cut の形状に疑問があり、この付近から発生する wake の幅が目立って広く現況より流れは複雑化している様相を示している。

以上 1), 2), 3) から今回の実験目的が渦流緩和対策に関するものであるから、馬島側における地形改良は効果的であり、流れの平均流速、流向ともにほぼ一様となる。しかし中渡島における改良形状には、部分的にはっきりしない点が残されているので、機会があればこれらの点を明らかにする必要がある。

以上概括的ではあるが本実験の結論としたい。

終りに、この実験に必要な資料を収集するための現地調査に御協力下さった、第三港湾建設局神戸調査設計事務所並びに松山港工事事務所の関係者に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 来島海峡潮流図, 海上保安庁海図第 6208 号 1964 年 12 月
- 2) 来島海峡現地調査報告書, 第三港湾建設局神戸調査設計事務所, 資料番号 No. 48 1970 年 12 月
- 3) 水理公式集, 土木学会, 1963 年増補改訂版
- 4) Waterways Experiment Station: Roughness standards for hydraulic model—Report No. 1, Study of finite boundary roughness in rectangular flumes, corps of U.S. Army, Tecl. memo, No. 2-364, June 1953.
- 5) 柴山焯彦, 須藤茂: 水平全方向流速計の試作について, 港湾技術研究所報告, Vol. 9, No. 1, 1970 年 5 月
- 6) 木村久雄, 工藤国守, 柴山焯彦: 高知港津波防波堤に関する模型実験, 港湾技術研究所報告, Vol. 7, No. 2, 1968 年 6 月
- 7) 浜田徳一, 寺西孝雄, 原中祐人: 高知港口の模型実験について, 運輸技術研究所報告, Vol. No. 9, ~10, 1953 年 10 月

(1971. 6. 30 受付)