

# 港灣技研資料

TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 182      June 1974

來島海峽潮流模型実験(西水道)

木村久雄  
福森利夫  
佐野喜久雄

運輸省港灣技術研究所



# 来島海峡潮流模型実験（西水道）

## 目 次

要 旨 .....	3
1. まえがき .....	5
2. 実験目的 .....	5
3. 南流時の実験条件 .....	7
3.1 南流実験に用いた現地の水理量 .....	7
3.2 南流模型における水理量 .....	9
4. 模型における取り扱い .....	10
4.1 模 型 .....	11
4.2 実験装置 .....	12
4.3 測定方法 .....	12
5. 南流実験 .....	13
5.1 Case 1 現 況 .....	13
5.2 Case 2 コノ瀬Cut-20m .....	24
5.3 Case 3 馬島西岸の導流堤 .....	35
5.4 Case 4 馬島西岸Cut-20m .....	44
5.5 追加実験(コノ瀬Cut-25, -30m) .....	52
6. 実験結果の考察 .....	56
7. 北流時の実験条件 .....	66
7.1 北流実験に用いた現地の水理量 .....	66
7.2 北流模型における水理量 .....	67
8. 北流実験 .....	68
8.1 Case 1 現 況 .....	70
8.2 Case 2 コノ瀬Cut-20m .....	78
8.3 Case 3 馬島西岸の導流堤 .....	87
8.4 Case 4 馬島西岸Cut-20m .....	95
8.5 追加実験(コノ瀬Cut-25, -30m) .....	102
9. 実験結果の考察 .....	105
10. 南北流の比較検討 .....	114
11. あとがき .....	114
参考文献 .....	115

## 采島海峡潮流模型実験（西水道）

木 村 久 雄\*  
福 森 利 夫\*\*  
佐 野 喜久雄\*\*

### 要 旨

この実験では、瀬戸内海で難水路と称される采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模型実験によって検討する。

第1報告（港研報告第10巻3号）および第2報（港研報告第11巻2号）において、中水道における南北流大潮時の航路改良によって生じた潮流の性質変化、特に模型潮流の乱れあるいは剥離、後流等の水理的性質を検証することができた。

今回報告されるものは、西水道の南北流大潮時に関するものであり、まず現時についてその水理的性質を調べ続いて航路を改良した場合、潮流の性質変化その他水理条件を実験的に研究し考察した。

---

\* 海洋水理部 水理研究室  
\*\* 前海洋水理部 水理研究室

**A Model Experiment on a Tidal Current at the Kurushima Strait  
(Nishi Suido)**

Hisao KIMURA\*  
Toshio FUKUMORI\*\*  
Kikuo SANO\*\*

**Synopsis**

At the Kurushima Strait, which is reputed as a difficult route in Seto Inland Sea, the rapid and irregular tidal currents are generated and they give difficulty for the navigation of ships. In this experiment the method to reduce the eddy currents which are generated locally at the Kurushima Strait is investigated by means of a model test.

In the first (Rep. PHRI, Vol.10, No.3) and the second report (Rep. PHRI, Vol.11, No.2) the characteristic changes of the tidal current at the time of high tide of both southward and northward flows at Naka Suido (central path) which would arise from the improvement of the waterway were examined with some special interest in hydraulic properties of the tidal current in the model such as turbulence, separation, wake, etc.

This report describes the experiment for both southward and northward flows at the time of high tide at Nishi Suido (west path). The hydraulic properties for the present waterway condition were examined at first. The next, for the case of the improved waterway, the changes of the tidal current and other hydraulic properties were investigated experimentally.

---

\* Member of the Hydraulics Laboratory, Hydraulics Division

\*\* Ex-Member of the Hydraulics Laboratory, Hydraulics Division

## 1. ま え が き

瀬戸内海沿岸の工業開発は発展途上にあり、近代化された産業の輸送コストの合理化のために船舶の大型化が必要とされているが、現状は備讃瀬戸と来島海峡によって大型船舶の通航をはばまれその開発に支障をきたしている。しかし、前者の備讃瀬戸の航路は、1973年に10万トンクラスの船舶の通航を目的として完成されている。一方、来島海峡については、ここ数年間に各種の調査が実施され、第三港湾建設局ではこの海峡を備讃瀬戸と同様に大型船を容易に通航させるよう整備するため、当面5ヶ年計画では中水道を5万トンクラスの船舶を対象に航路水深14mおよび幅員500mとし、西水道は非常時における大型船を考慮してコノ瀬の浅部を掘削して水深19mにする計画が進められている。

このような観点から実験担当は、来島海峡に生じている不規則な急潮流の防止工法について検討を加えることになり、1970年から特に最適な平面および海底地形に重点をおき模型実験を行なった。

これまでの第1報<sup>1)</sup>および第2報<sup>2)</sup>においては、中水道における南北流での大潮時に生ずる不規則な急潮流の水利的性質を現況、あるいは航路を改良した場合について実験的に解析した。これらの海峡が島々に囲まれた狭い水路と複雑な地形になっているため流れをとまらぬ流れが甚だしく、特に中水道においては最大流速が5m/secを越えることがある。したがって、模型実験から現況時と改良地形時による航路内の水利条件を検討した結果、地形改良は効果的であり流れの平均流速・流向ともほぼ一様となって妥当性が検証された。

報告書<sup>1)2)</sup>の実験結果をもとに基礎的な事項を要約すれば次の通りである。

第1は、模型計画の段階で渦流の発生状況から判断して通常用いられる底面粗度の決定には、現地の底面起伏に十分な知識を持つ必要がある。またこの海峡における流れの傾向は、主流の彎曲、浅海部からの乱流、島の側面からの剝離等が顕著であり、このため単純に模型に再現しようとする流れだけでは決定できず、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。

第2について海峡における乱れの性質は、平面的に非常に広い海域（燧灘と安芸灘）から潮流が流入しているため相当大きな水平交換があるものと考えられる。たとえば、鉛直方向における速度分布の最大流速が水深20～50m付近に現われ、それよりも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慮してやると説明できる。また乱れの強さ

についても実験（南北流の平均）では、十分整流されて模型の水域に流入するため流入側で $\sqrt{u_1^2}/U=0.092$ となっている。しかし、実際の海峡で果してこの程度であるかは疑わしい。というのは、模型において平面および鉛直の両地形の影響を受けた後の流出側で $\sqrt{u_2^2}=0.219$ を示しているからである。ただし、流出側の地点は西の鼻およびネズミ鼻からの後流の影響が多少関係しているものと考えられ、このように流入域に対して約2.4倍を示していることから、前に述べたような錯雑した地形を通過した場合に turbulence intensity が増加することが明らかとなる。

第3に模型の規模に関係する流れの場合における代表的な Reynolds 数も、 $Re=UR/\nu$ を用いて計算した結果から現地と模型とでは、その値が大きく異なるために生じている現象が違っているであろう。しかしながら、模型縮尺の歪率はほぼ1.0としているため、底面および側面からの渦の発生は比較的現地に近いと考えてよい。

上述の諸問題があるが、これらを解決するためには現在使用している実験装置では不可能であり、しかも現地の乱れの性質は未知の上、模型にもそれ特有の性質があるものと考えられるから、両者を如何にして相似させるかが今後の大きな研究課題となっている。

したがって今回の報告は、今まで実施してきた資料を参考に西水道における南北流の大潮時について、局部的に発生する渦流を減少させて大型船舶の航行を安全かつ円滑にする航路形状を実験的に研究し考察するものである。

## 2. 実 験 目 的

瀬戸内海を見渡すと新産業都市および工業特別整備地域、その上既設の工業集積地域が軒並でこれら等を考える工業区域の開発目標を達成するため、大型船の航行を防げている来島海峡の航路整備が急務となってきた。

この来島海峡は、瀬戸内海において最も潮流の激しい水道であり、その周辺の複雑な地形による不規則な流れが甚だしく、特に西水道は水路が彎曲して見透しが悪い上、来島瀬戸（小島、波止浜間）の潮流あるいは南流時においては、コノ瀬および小浦崎によって生ずる渦流が航路付近まで影響を及ぼし、また北流時にはウズ鼻および今治側に点在する岩礁によって渦流が生じている。

こうした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ので、現在計画されている渦流緩和対策としては次のごとくである。

- i) コノ瀬の岩礁除去
- ii) 馬島の西岸に沿って導流堤の設置
- iii) 馬島西岸（小浦崎）の一部Cut

以上の3点にしばっ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、西水道の大潮時での南北流に関するものであり、上述の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および海底地形に着目してその工法を決定しなければならない。したがって、今後この海峡が整備された場合に航路の条件はそれに応じて変化して行くものと考えられる。これらについて理論的に追求することは困難であると思われるので、水理模型実験から定性的あるいは定量的に検討を加えたのでこれらの実験結果について述べる。

実験の種類としては

- 1 現況時における不規則な急潮流の水理的性質を調べる。
- 2) 西水道の北方に位置しているコノ瀬の浅海部を掘削して水深-20mとした場合。
- 3) コノ瀬の水深-20mに新たに馬島の西岸沿いに

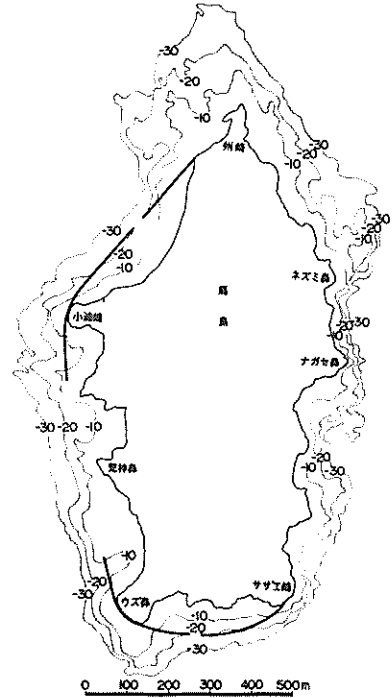


図-1-2 馬島西岸の導流堤配置図

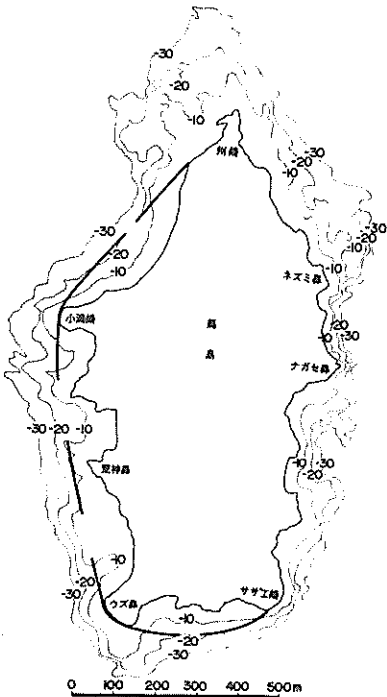


図-1-1 馬島西岸の導流堤配置図

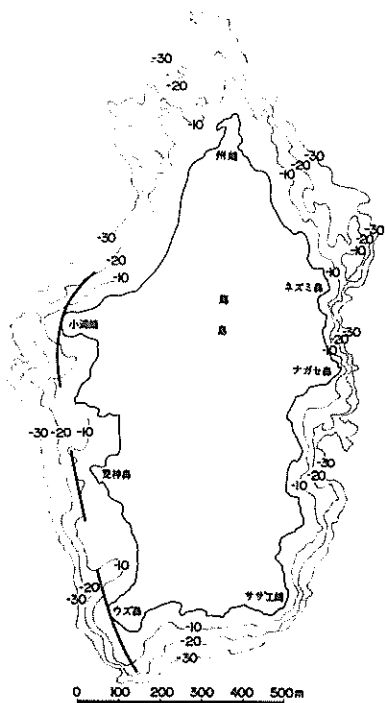


図-1-3 馬島西岸の導流堤配置図

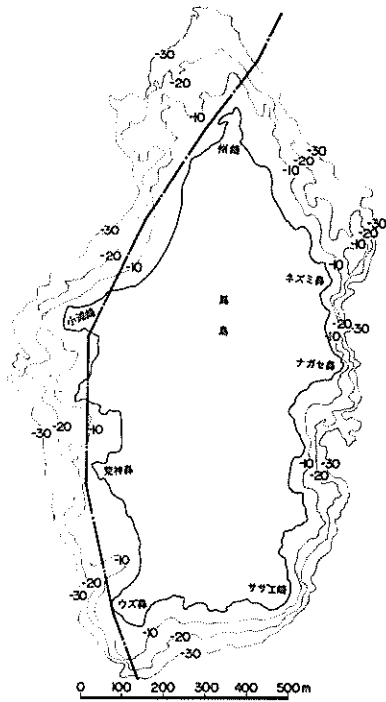


図-1-4 馬島西岸の導流堤配置図

導流堤を設置した場合。(図-1-1~3参照)

4) コノ瀬の水深-20mに新たに馬島の小浦崎の一部をCutし、水路幅員700m内は最小水深-20mとした場合、さらに島のCut勾配は中水道と同じ5分として改良する。(図-1-4参照)

なお、2)で渦流が消失しない場合は渦流が消えるまで掘削(5m間隔)する。

以上1), 2), 3), 4)についての結果を検討する対象水域は、上流側のコノ瀬付近から馬島の下流側約500mにわたる全延長2.6kmの範囲として行なった。

### 3 南流時の実験条件

#### 3-1 南流実験に用いた現地の水理量

##### (1) 潮位、流速、流線

来島海峡の潮流は、北方の安芸灘より南方の燧灘に向う流れを南流と称している。

南流の潮位は、昭和46年8月9日~12日の大潮時(南流最強時)に観測した値<sup>3)</sup>を用いている。この観測は図-2に示す位置すなわち、小島(A点)馬島(B, C点)今治側(D点)の計4点を設けて測定した。その方法は各々の測点に量水標を設置し、その時の結果は表-1に示す通りである。ただし、測定時間は10分間隔

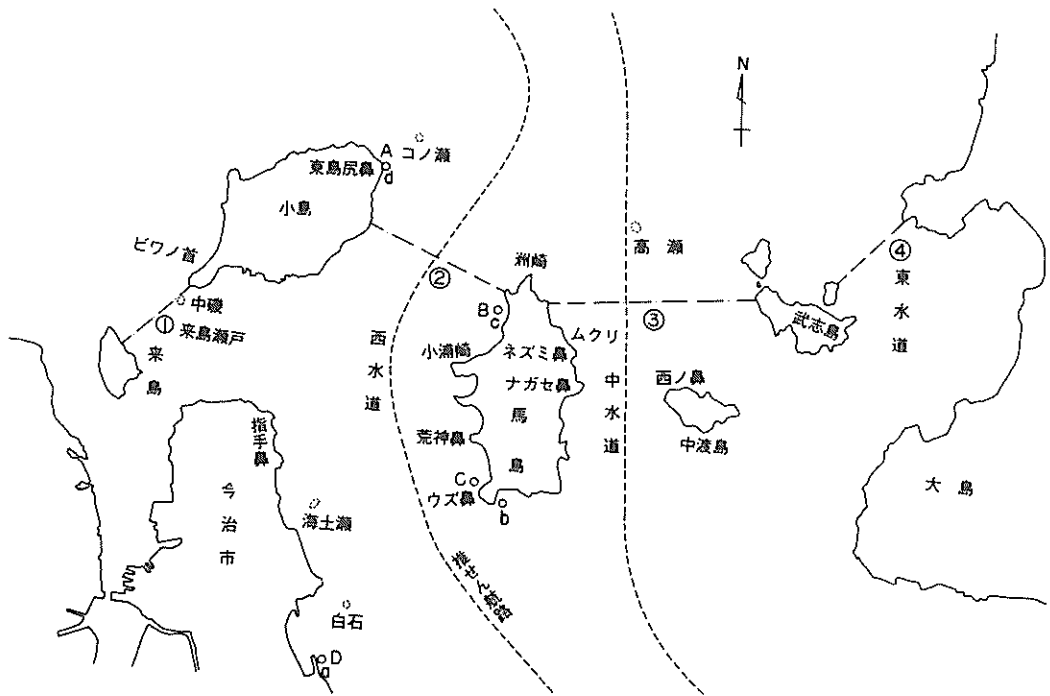


図-2 来島海峡平面図

表-1 潮位表 (南流時)

測点	距離	潮位
A	0 m	0.68 m
B	540	0.80
C	1650	0.39
D	2670	0.51

注意 1) 距離はA点を基準にしたものである。  
2) 潮位の基準はT.Pである。

として波の山および波の谷をそれぞれ10回読みとりその平均値をその時刻の潮位とした。

各測点の潮位を図示すると図-3のようになり、A、B、C、Dの全測点の値から水面勾配Iを最小自乗法より求めると $I = 0.00010$ になる。またA、B、Cの3点を用いると $I = 0.00017$ となる。したがって、D点を用いると水面勾配は小さくなり、粗度要素に関係してくるので図-2からわかるように対象水域から外れているD点の水位は参考までとした。

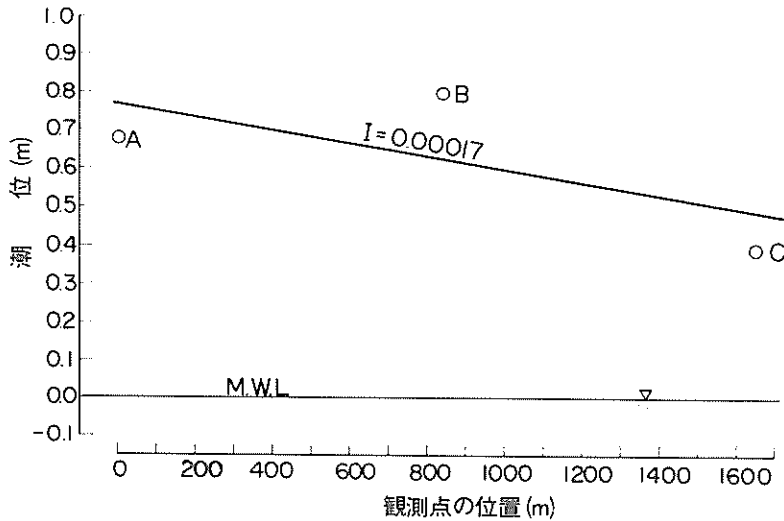


図-3 現地の水面勾配 I

次に流速は、潮流図<sup>4)</sup>およびフロート観測(昭和46年8月9日~12日)の測定結果をもとに行なっている。西水道における南流大潮時の最強流速を示す位置は、流入側のコノ瀬と小島間で約 $3.5 \text{ m/sec}$ および小浦崎とウズ鼻の推せん航路付近で約 $4.0 \text{ m/sec}$ となっている。また西水道の平均流速はほぼ $2.0 \sim 3.0 \text{ m/sec}$ である。

来島海峡の流量を図-2に示す①, ②, ③, ④の各断面を用いて算出すると表-2の通りである。

表-2 来島海峡流量表 (南流時)

断面	断面積	平均流速	流量
①	9,500 $\text{m}^2$	2.0 $\text{m/sec}$	19,000 $\text{m}^3/\text{sec}$
②	29,300	2.5	73,300
③	40,400	2.5	101,000
④	28,500	1.5	42,800
計	107,700		236,100

表-2によれば、この海峡の全流量は $236,100 \text{ m}^3/\text{sec}$ でこの内中水道(中渡島と武志島間を含む) $101,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、西水道(来島瀬戸を含む) $92,300 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり、前者と後者を合せて全流量の82%を占め、ほとんどこの2つの水道に流入していることがわかる。

ここで西水道の流線については、南流時の場合流入側に位置している小島の影響が大きく現われ、島の背後の水域はほとんど微流速で複雑な様相を示している。このために北方のコノ瀬付近から流れは、小島に圧流されて沖方に押される傾向で推せん航路より多少馬島側に寄ったところに流心部が現われている。一方、来島瀬戸から流れ込む潮流は、今治側の指手鼻からほぼ $150 \text{ m}$ 付近に流心を持ちながら流下して西水道の一般流に合流する。さらに下流水域の流心部は、馬島(ウズ鼻)と今治側太郎鼻)を結ぶ線上で馬島から約 $1/3$ の付近に現われている。この要因については、来島瀬戸からの潮流の効果あるいは海底地形によるものと考えられる。

次に南流時における西水道の流況を把握すれば、西水



道の幅は中水道の幅に比べ約2倍広く、このため流れは水道全体にわたって緩慢である。しかしながら、北方に位置しているコノ瀬から発生する渦流および馬島州崎からの剝離、さらに小浦崎によって生ずる渦流が航路付近まで及んでいる。また推せん航路付近のやや東方(小浦崎からウズ鼻にかけて)に顕著な潮目が現われている。

### (2) 粗度係数

西水道の中央部(小浦崎)付近を例にとると、径深  $R = 3.72 \text{ m}$  (馬島西岸より沖方に  $600 \text{ m}$  の断面を用いている)水面勾配  $I = 0.00017$  (観測点 A, B, C の値)であり, manning の粗度係数  $n$  を manning の平均流速公式  $V = (1/n) R^{2/3} I^{1/2}$  より算出すると, この付近の平均流速を  $V = 2.4 \text{ m/sec}$  とすれば粗度  $n = 0.0605$  となる。

## 3-2 南流模型における水理量

### (1) 相似性

この実験については, 第1報の相似性の項(PP9~11)で述べているように現地と模型の間に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, 流れの実験で一般的に現われる力の中で2つまで相似させることが可能であり, この場合は水の動きを対象とするものであるから, 慣性力を落とすことはできないので残る1つの力として重力を選び Froude 相似則を用いている。Froude number は流速と水深の平方根とを比例関係にすれば, 現地と模型の  $F_r$  を一致させることができる。

この実験の Froude number ( $u/\sqrt{gh}$ ) は現地  $F_r = 0.10$  に対して模型でも  $F_r = 0.10$  とともに  $1.0$  よりも小さく常流である。したがって, 相似としては一応 Froude 相似に基いているが, 粘性の影響は粗度などである程度調整するのも一つの手段とされる場合が多い。

しかしこの模型実験を例にとると, 粘性項と加速項との関係を示す Reynolds number ( $UR/\nu$ ) を西水道の中央部付近で求めた結果によれば, 現地で  $Re = 8.8 \times 10^7$  であるのに対して模型では  $Re = 2.7 \times 10^4$  と大きく異なっている。このことから現地と模型とは, 生じている現象が相当違っているであろう。ことに粘性として分子粘性をとるとき模型縮尺の規模からこうした結果はやむを得ない。したがって, このような方法を変えない限りは Reynolds number を合せることは困難である。

次にこの実験では, 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ので, 前報告で述べているように今まで

行なってきた広矩形断面の模型水路では考えられなかった現象が生じているため, この模型の粗度要素に対する検討が必要とされる。

上述のような諸問題があるがこの実験においては, 慣性力, 重力, 摩擦抵抗力などの関係である不等流の運動方程式を用いて模型水理量の縮率を述めることができる。なお, その方法については第1報 P. 10 を参考にされたい。

表-3 模型の縮率(南流時)

水理量	現地	模型
水平方向の長さ	1.	1/400
鉛直方向の長さ	1.	1/250
流速	1.	1/15.8
流量	1. (236,100 $\text{m}^3/\text{sec}$ )	$1.58 \times 10^6$ (0.149 $\text{m}^3/\text{sec}$ )
粗度係数	1.(0.0605)	

### (2) 水位, 流速, 流量

模型の縮率は表-3に示したように水平方向1/400, 鉛直方向1/250の歪模型である。したがって, 水位は観測点 A, B, C を用いて模型の水面勾配  $I_m$  を求めれば

$$I_m = \frac{x}{h} \times I_r \quad I_r: \text{現地の水面勾配}$$

$$= \frac{400}{250} \times 0.00017 \quad h: H_r/H_m = 250$$

$$= 0.000272 \quad x: X_r/X_m = 400$$

となる。

次に流速は表-3より

$$V_m = \frac{1}{15.8} \times V_r$$

となり, たとえば西水道南流時の最強流速は現地  $V_r = 3.5 \sim 4.0 \text{ m/sec}$  であるから, 模型では  $V_m = 22.3 \sim 25.3 \text{ cm/sec}$  となる。また平均流速は  $V_r = 2.0 \sim 3.0 \text{ m/sec}$  であるから, 模型では  $V_m = 12.3 \sim 19.0 \text{ cm/sec}$  である。

模型の全流量  $Q_m$  は

$$Q_m = \frac{1}{h \cdot x \cdot h^{1/2}} \times Q_r$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{250 \times 400 \times 15.8} \times 236.100 \\
 &= \frac{1}{15.8 \times 10^6} \times 236.100 \\
 &= 0.149 \text{ m}^3/\text{sec}
 \end{aligned}$$

となり、現地の単位時間あたりの流量  $Q_p = 236.100 \text{ m}^3/\text{sec}$  が模型では  $Q_m = 0.149 \text{ m}^3/\text{sec}$  となる。

### (3) 粗度係数

現地の粗度係数  $n_p$  を模型の粗度係数  $n_m$  に換算すると

$$n_m = 1/198 n_p$$

とすればよい。

たとえば、西水道の中央部（小浦崎付近）の粗度は  $n_p = 0.0605$  であるから模型の粗度は  $n_m = 0.0305$  となる。水理公式集<sup>5)</sup>による水路の壁面をモルタル仕上げで行なった場合の模型の型状低抗を考慮して粗度係数 0.015 程度と推定すると、現地から換算された模型の粗度係数が  $n_m = 0.0305$  であるため、残りの  $0.0305 - 0.015 = 0.0155$  に相当する粗度は人工粗度によらなければならない。また、対象水域外の中水道の粗度は  $n_m = 0.05$  とし、その内 4 割をホワイトセメントおよび形状抵抗によるものとして残りの 0.03 を人工粗度としている。なお、粗度の形状は第 1 報に示した W. E. S の実験データを基にした試算式を用いている。

この方法により人工粗度を千鳥状に配置した場合（写真-1、2 参照）粗度の高さ  $H$ （粗度の大きさ  $H$  の立方体）とその間隔  $S$  を水深別に決めたものが表-4 および表-5 である。

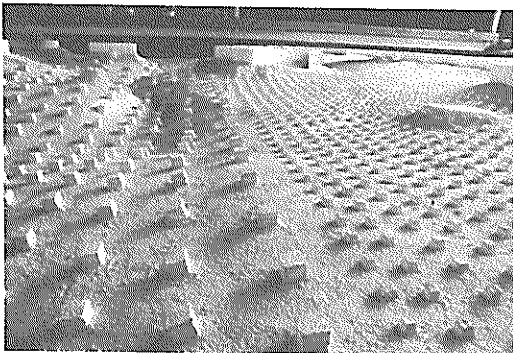


写真-1 人工粗度の取付状態

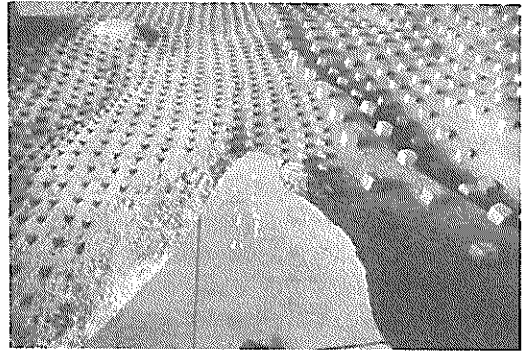


写真-2 人工粗度の取付状態

表-4 西水道の水深別による人工粗度（南流時）

水深	大きさ	間隔
1.0 cm	1.1 cm	7.2 cm
2.0	1.2	7.2
3.0	1.3	6.5
4.0	1.3	6.5
5.0	1.3	6.5
6.0	1.4	7.0

表-5 中水道の水深別による人工粗度（南流時）

水深	大きさ	間隔
1.0 cm	5 cm	2.5 cm
2.0	7	2.8
3.0	8	2.4
4.0	9	2.7
5.0	10	2.5
6.0	11	2.8

人工粗度の取付作業に便利をよりに間隔を一定にするのが望ましい。したがって、表-4 および表-5 は粗度の間隔をほぼ 7 cm、2.6 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。しかし、この方法は矩形断面の一樣水路の等流による実験結果を基礎としているので、実際の使用にあたってはさらに試行による調整が必要である。

## 4. 模型における取扱い

この実験に使用した模型の大きさ、実験装置、測定方

法等については、来島海峡潮流模型実験（第1,2報）と大体同じ方法を用いているので参考にされたい。ただし、模型スケールは試験区域が現地の現象を再現しやすいように、広範囲な全体的な流れを考慮して計画している。

#### 4-1 模 型

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施設の流量容積との関係、さらに流速測定に必要な水深を考へて鉛直縮尺は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、特に流速、水面勾配等の基本的なデータのほかに流れの特徴すなわち、岬の剝離現象、渦の発生状態、湾や入江の反流状態、島の背後における微流等を模型上に正確に再現できるように、上流、

下流側および対象外の中水道、東水道をとり入れ水平縮尺1/400と決定した。

したがって、渦流をとまらぬ実験では歪を大きくすると、水深が大きくなって側壁の影響が出てくるのでこの実験では歪率を1.6とした。なお、参考までに歪率は大体2.0以内にとどめることが望ましい。

模型に使用した海底地形は、図-4に示す通り水深40m以浅は昭和41年に第三港湾建設局が行なった深淺図をもとに作成し、水深40m以深は海図から決定した。

図から明らかなように海峡の海底地形は凹凸の激しい複雑な形状を呈しているが、西水道の等深線は中水道にくらべ水深が3~4割程度浅く平坦な地形になっている。しかし、実際の海底地形はもっと複雑に入り組んでおり、かつ凹凸が激しいものと考えられる。そこで海底の小規模な凹凸については、粗度要素に関係しているので人工

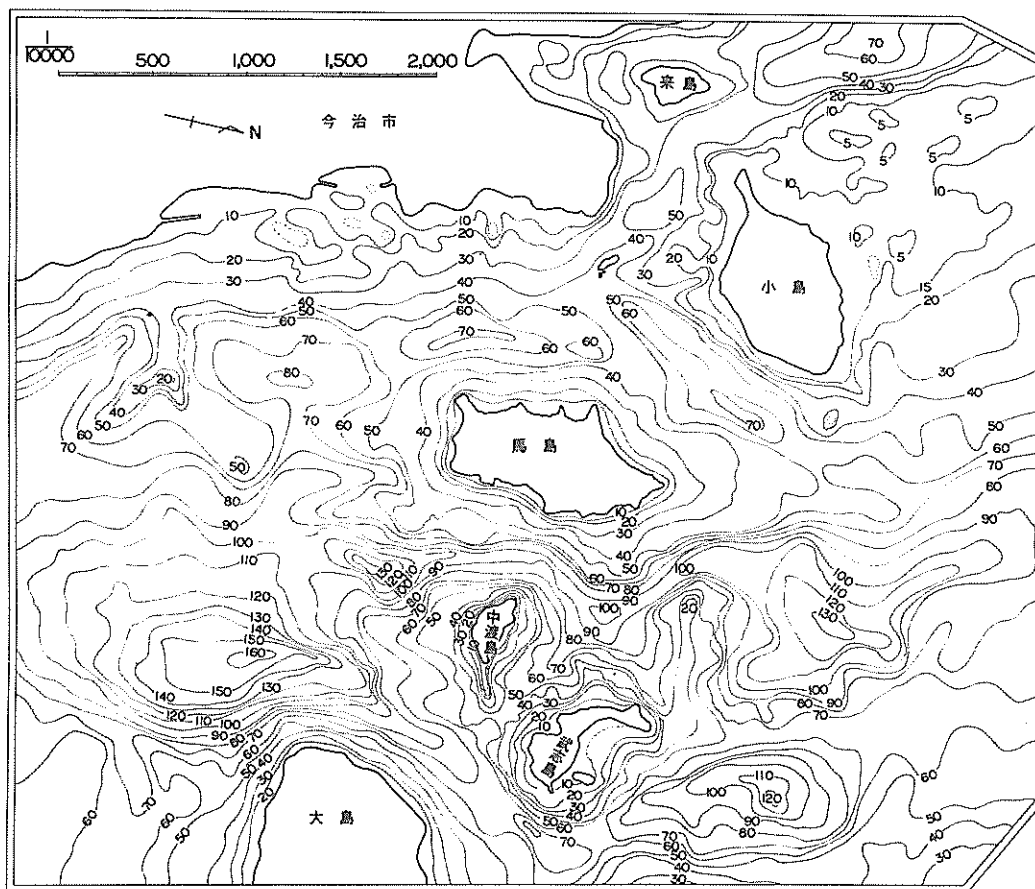


図-4 模型に使用した等深線

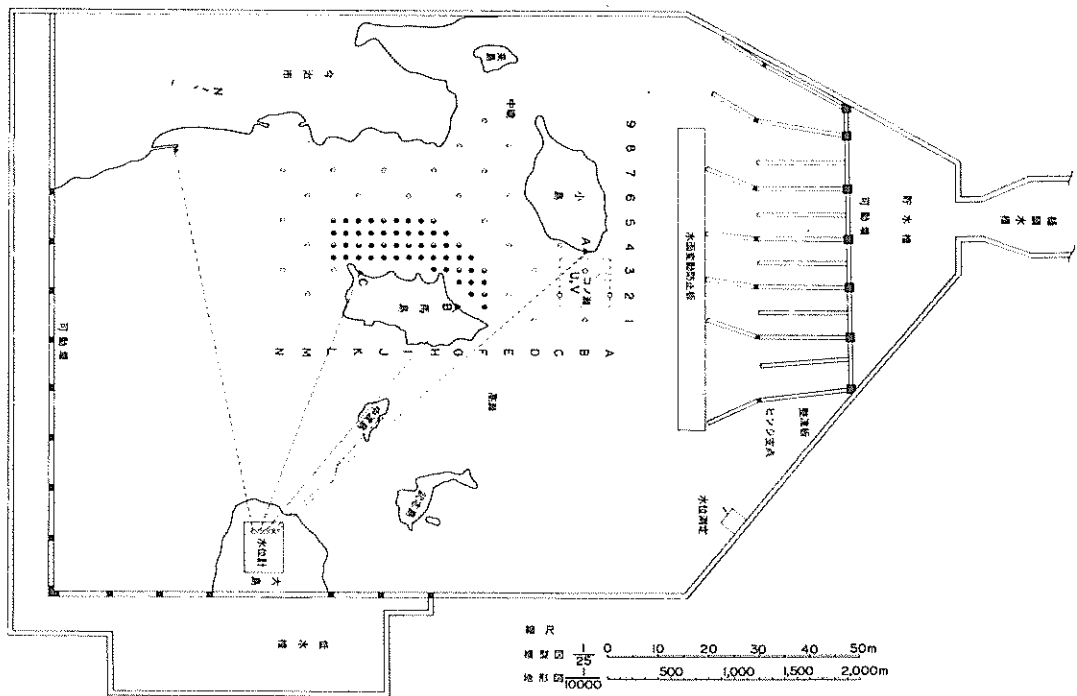


図-5 模型全般図

粗度による調整が可能とされている。

この模型に使用した人工粗度は、前述したW・E・Sにおける実験資料を参考にして間隔を一定にとり、水深の変化に対して立方体の大きさを変えその後は試行により調整した。

次に模型の表面にホワイトセメントを用いた理由は、今回の実験が渦流をともなう不規則な流状を示すものであるから、水深別の流れの動きを十分に観察および写真撮影の場合に便利と考えたからである。また、模型および制御装置等の配置は図-5に示すごとく広い範囲をとり入れた。

#### 4-2 実験装置

この実験に用いられた平面模型は、当所流理実験室(24.9×15m)内の平面水槽に16.5m×11.5mの範囲で製作した。

実験用水の供給は循環式であり、30kWの電動機に直結させた300耗立形固定翼軸流ポンプを動力とする廻流水路中にある。図-5に示す平面水槽(既設模型)の流水口(可動堰)より地下廻流水路(低水槽)に入り、揚水ポンプにより高水槽に上げてこれより給水管(φ300

mm)を通して樋頭水槽に送られ再び模型面に廻流する。

次に流量の調節は、給水管に取り付けてある制御弁の開閉を手動で行ない、流量の検定は樋頭水槽内に設置されている幅80cmの矩形鋭縁量水堰を用いている。その検出方法としては、越流水深の測定は堰の直上の水頭でなく、少なくともそこから最大水頭の3倍以上の上流であることとされていることから、この場合は堰の上流80cmのところに取り付けたネオン管式水位計および触針型水位計よりデジタルメーターに検出して流量の測定を行っている。さらに実験精度を上げるために平面水槽の図-5に示す一隅に小さな水孔で模型内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で測定し、模型の流量および水位がすべての実験において同一条件であるように試みている。

今回使用した導流堤は耐蝕アルミで製作し、計画法線(図-1-1~3参照)に合せて設置した。その他平面水槽内の模型制御等は、前回と同じ方法を用いているので詳細については前報告を参考されたい。

#### 4-3 測定方法

この模型実験の水面勾配は、現地に合わせるため図-

5に示すA, B, C, Dおよび中渡島の5点を現地観測と同一地点として行なっている。これらの測点にはあらかじめ模型コンクリートの中に銅パイプ(φ10mm)を埋込み、極力静圧のみとり出すよう開口部の形状に注意した。測定は大島に設けている傾斜マノメーター(ガラス管φ6mm)に各々の銅パイプを直結し、読みとり精度を上げるためにマノメーターを水平面より30°傾斜すなわち、2倍に拡大して各々の測点における水位を測定した。

次に平均流速、流向の測定は全般的な流れの状態を把握するために、図-5に示す○印の全点で水深別に2, 4, 12cm(現地換算5, 10, 30m)の測定を行なっている。また、これらの測点の中からA-2, C-2, F-3, H-5, J-5, L-5, N-5において、鉛直方向の流速および流向分布を表層より底層に向って2cm間隔で測定している。さらに地形を改良する付近の流況を改良前と改良後の流れの性質変化を詳しく調べるため、図-5および図-6に示された水域で水面下2, 6, 8, 10, 12, 14cmの各水深における平均流速、流向を流下方向(計測line)に2.5cm間隔、流下方向に直角に5cm間隔として流速のsine, cosine成分を測定した。

なお、図-5に示す●, ○印で馬島の西岸を改良した場合の流れの変化について水深2, 4cmの流速、流向を調べた。

この実験で流速、流向測定に使用した計器は、当研究所で開発された室内用の水平全方向型流速計である。この流速計の構造に関しては第1報で詳しく述べている。

次に流速計のプロペラ回転数から1秒間のパルス信号数Pと1秒間の流速V(cm/sec)との関係は次の通りである。

$$\text{流速計\#1 } V = 0.886 P + 2.0$$

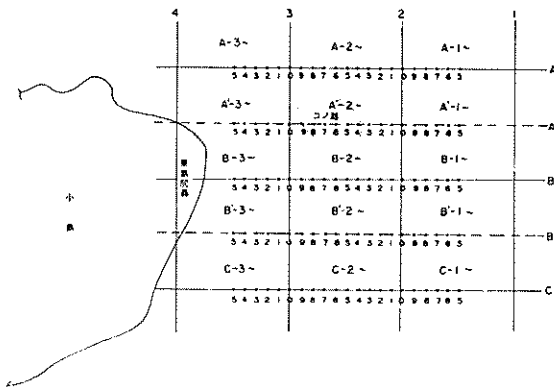


図-6 u, v成分測定位置

$$\text{流速計\#2 } V = 0.860 P + 2.5$$

いずれも測定可能範囲は  $3 \text{ cm/sec} \leq V \leq 100 \text{ cm/sec}$  となっている。

上述の関係式から各々の測点における流速、流向を前述した流速計のパルス信号をユニバーサル・カウンターにより連続10秒間のパルス数を記録させ、その変動に応じて測定する時間をかえて行なった。なお、一連の実験値は日を改めて測定しその平均から各測点における値としている。

一般流と後流の接する不連続面あるいは渦流領域さらに微流速域においては、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。また、流線図(水面)の測定方法は前回に報告されたものと同じである。

## 5. 兩流実験

この実験に先立って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き、一般流、後流、逆流、流れの分離点等の流速、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対象となる水域が、現地の状況に近づくまで上流側の整流板および下流側の可動堰をそれぞれ調整した。

まず実験は、渦流緩和を検討する水域がコノ瀬および小浦崎付近であり、かつ潮流の平均流速の変化に着目するものとすれば、模型上の流れはコノ瀬周辺よりウズ鼻の推せん航路から馬島岸側における沿岸の流れを再現できればよいであろうと思われる。したがって、この実験の流況として来島瀬戸からの流れも十分考慮に入れて行なった。

そして最終的に現地とほぼ一致したので実験を進めることにした。なお、現地に換算した値は( )で表わしている。

### 5-1 Case 1 現況

#### (1) 流線

北方の安芸灘から来島海峡(西水道)に流入する流れは、図-7に示すごとく当然のことながら自然の地形にたがって流れる性質を持っている。すなわち、平面および海底の複雑な地形(図-4参照)からも観察できるように、水道中央の上流側に小島が位置し、さらにコノ瀬と中磯(来島瀬戸)の浅部が存在しているため、平面的に非常に広い海域(安芸灘)から潮流が西水道に流入する場合、小島とその周辺の地形が最も大きな影響を与

えるものと考えられる。

西水道の流況は、小島の北方で分離した流れの1つは  
小島と馬島の間を屈曲しながら水道に流入（馬島州崎の

前方で西水道と中水道に分離する）し、他の1つの流れ  
は来島瀬戸を通り抜け西水道の一般流に合流した後、ほ  
ぼ水深の大きいところに沿って流れる傾向を示している。

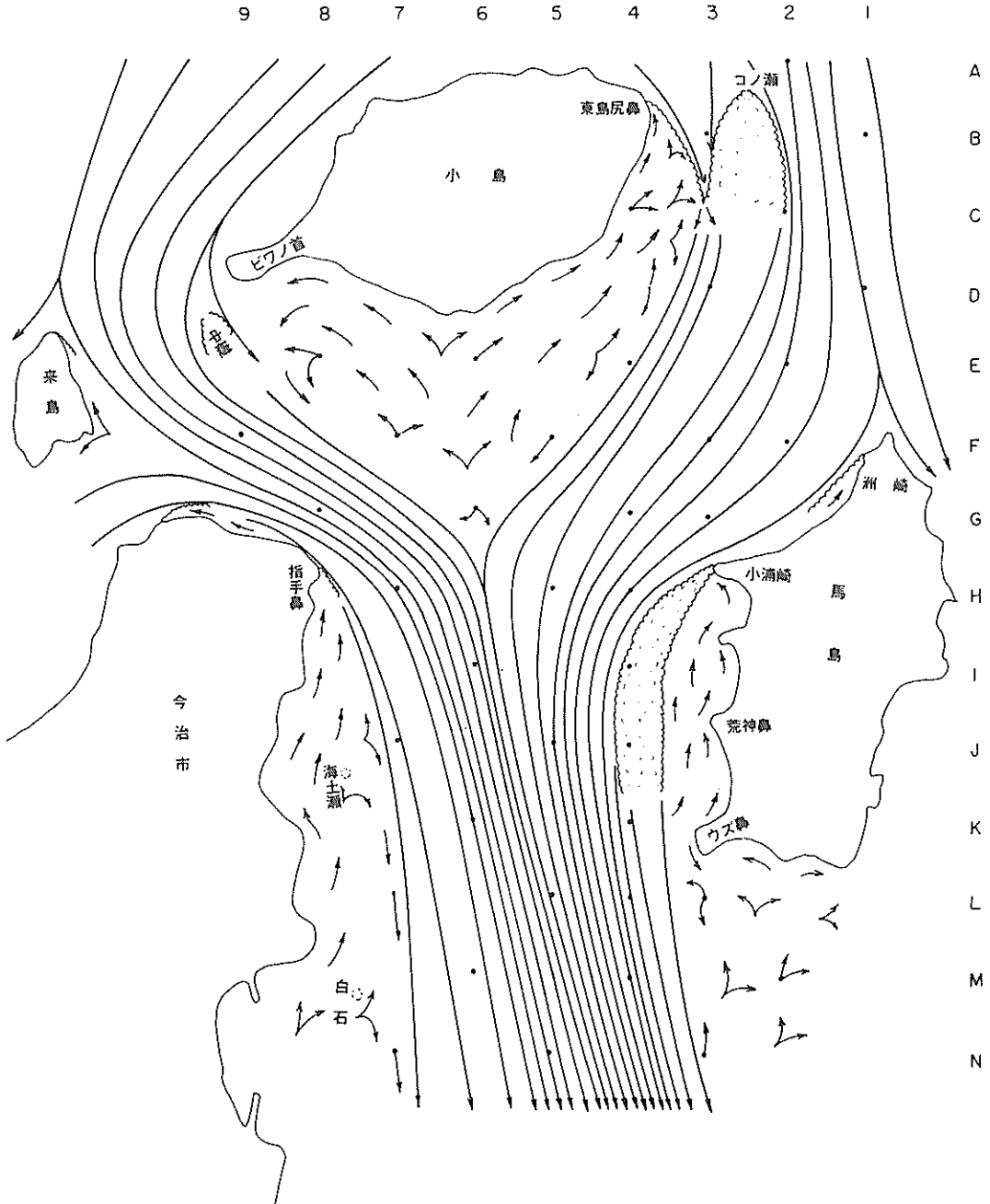


図 - 7 流 線 図 (case 1)

渦流領域については、コノ瀬の浅海部によって生ずるその周辺の渦流（逆昇流，沈降流）は強く複雑な現象を呈し、さらに東島尻鼻（小島）から発生する剝離現象もかなり大きな要素を持っているので注意する必要がある。

一方、小浦崎から発生する渦列は帯状を示しているが、前述のコノ瀬周辺の渦流よりもやや弱いように見受けられた。



図-8-1 流速・流向ベクトル表示図 (case 1)

次に反流域は、小島の背後にあたる広い地域に複雑な反流が発生し、また陸岸突出部の陰でも反流が現われているが、これらはすべて主流にくらべてかなり弱い流れ

である。

したがって渦流域および反流域では、流れが不規則なために流線を的確にとらえることはむずかしい。しかし、

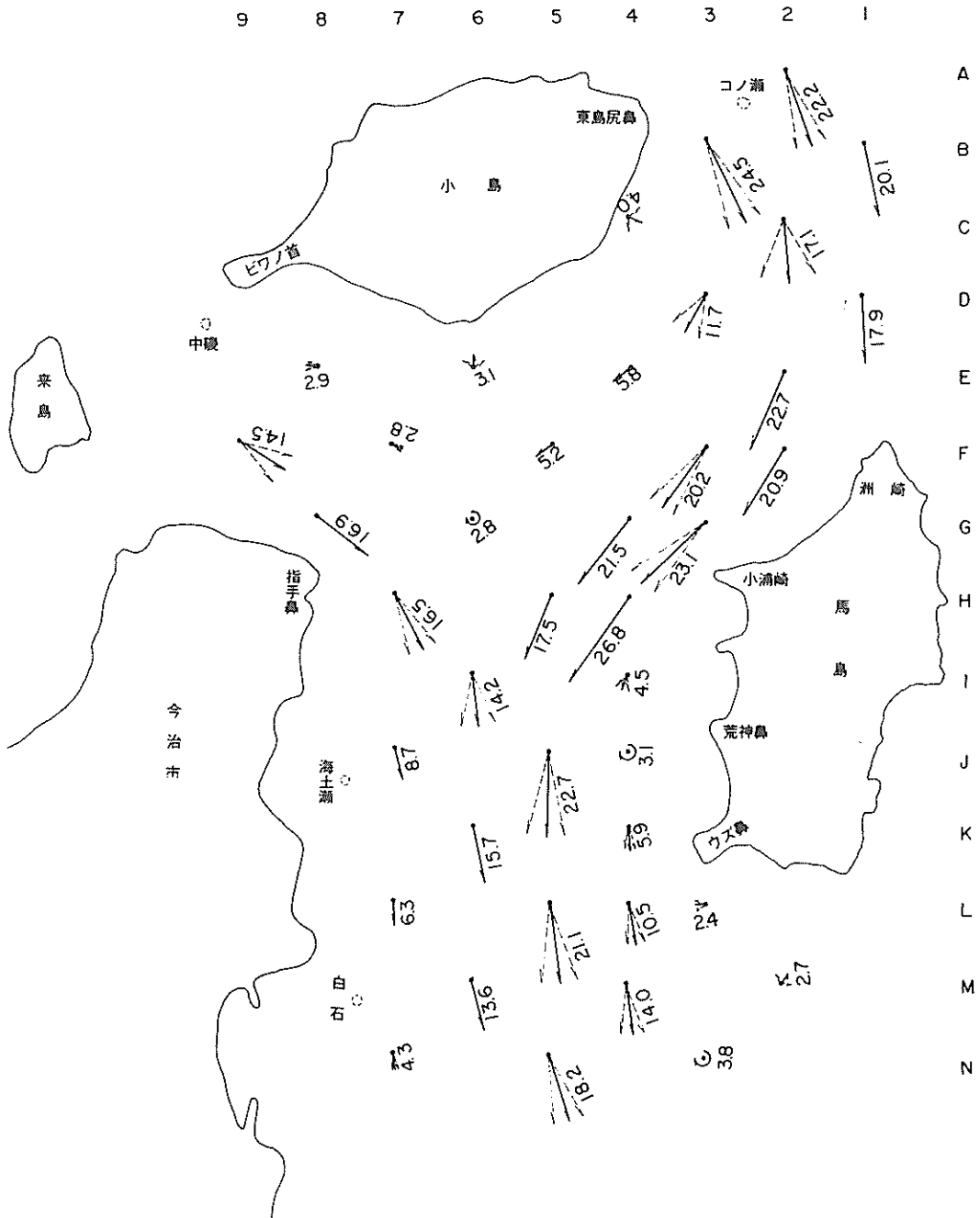


図-8-2 流速・流向ベクトル表示図 (case 1)



船舶の航行に主眼を置いているので一般流との境界線を定性的に測定した。ただし、渦流の状況を誇張して作図しているため、かならずしもこの渦流域で船舶の航行

が不可能であると言うことではない。

この西水道の不規則な潮流は、中水道と比較して水路幅が広く渦流の発生箇所が離れているため、船舶に及ぼ



図-8-3 流速・流向ベクトル表示図 (case 1)

す影響は中水道よりは少ないと考えられる。しかしながら、コノ瀬あるいは小浦崎から発生している渦流は複雑であり、かつ水路が彎曲して見透しが悪いことなどから、西水道における操船上の大きな問題となっている。

(2) 流速・流向ベクトル

水表面下 2 cm, 4 cm, 12 cm の各測定水深においての流速, 流向のベクトル表示を図-8-1~3 に示している。ここで図示の実線は平均流向を表わし, 点線は水平方向の変動幅が 20° を越した場合とした。また曲線はその変動幅が 360° を示し, 添字は模型における流速  $cm/sec$  の値であり, これを現地に換算するには 15.8 倍 (表-3 参照) にすればよい。

対象水域内の流況は, 流線で述べたように流入地点における小島の存在が, この西水道の流れを大きく左右していることが図より明らかである。たとえば, 小島の背後の流れは島によって遮蔽された形となつて不規則な逆流が生じているが, その流速は問題にならぬほど微弱であり, かつ流れの変動によって流向の変動も大きいように見受けられた。

まず上流付近から西水道に流入する流況を調べると, 小島に圧流した流れが東島尻鼻で大きな水位差となつて現われている。これは小島の北方周辺の海底が浅く東島尻鼻とコノ瀬間で急激に海底が変化し, さらにコノ瀬の浅部によりこの区間が狭い水路のような形となつて, 流れが加速され B-3 で各測定水深の平均で  $22.9 cm/sec$  ( $362 cm/sec$ ) の大きな流速が生じている。したがつて, 海底の高低差および平面地形による影響が最も大きな原因と言えるであろう。また, コノ瀬の沖方にあたる A-2 でも平均流速  $21.7 cm/sec$  ( $342 cm/sec$ ) とかなり速い流れが現われたことは, この周辺がいかに複雑な地形であることを意味している。

次にコノ瀬を流下した後の C-2 では, コノ瀬から発生する後流の領域 (図-7 参照) に入っているため流向変動も大きく, 各測定水深において流速が上方に向つて漸減している現象も, 表面近傍で水平交換の存在を考えると説明できる。

西水道に流入した後の馬島北方における水域の流れは馬島西岸沿いに進み小浦崎の先端付近に集中する傾向が大きい。したがつて, 小浦崎に圧流して沖方に押された流れは, 次第に加速され H-4 で測定水深の平均で約  $26 cm/sec$  ( $410 cm/sec$ ) の最大流速が現われている。その後の流速は次第に減少しながら 5 line 上に沿つて流れ去るものと推定される。

一方, 来島瀬戸から西水道に流入する流れは, 指手鼻の前面を通過して I 測線上の 6 line 付近で一般流と合

流し, その後は前述の 5 line に集中する傾向を示している。

小浦崎より形成される後流の領域内に入っている 4 line の流況は, 流速, 流向ベクトル図から観察できるような方向および変動幅に定量的な測定結果を得るのは非常に困難であった。なぜならば, この測定方法が流速計の可変部に取り付けた尾翼の振れを分度器 (流速計の上部に設置) を用いて目視しており, なお, 測定時間が大体 100 秒と短いために不規則な状況, たとえば目測では時間的に緩やかな変動を示しながらも, 時として瞬間的に大きく向きを変化させているからである。

以上のような測定値であるために, 限られた時間内における変動量が最大振幅を用いている関係上定性的といえる。実際には変動する流向の時間的変化あるいは流速との相関を求めるのが妥当であるが, 今回は実験期間および測定器などの関係から無理であった。

次に馬島背後については, 小島の背後でみられた性質と大体同じであり, ほとんど死水域に近く, 現地においてもやはり複雑で弱い流れの傾向が現われていた。

ここで参考までに現地で行なつたフロートによる流況観察<sup>3)</sup>を示したのが図-9 である。

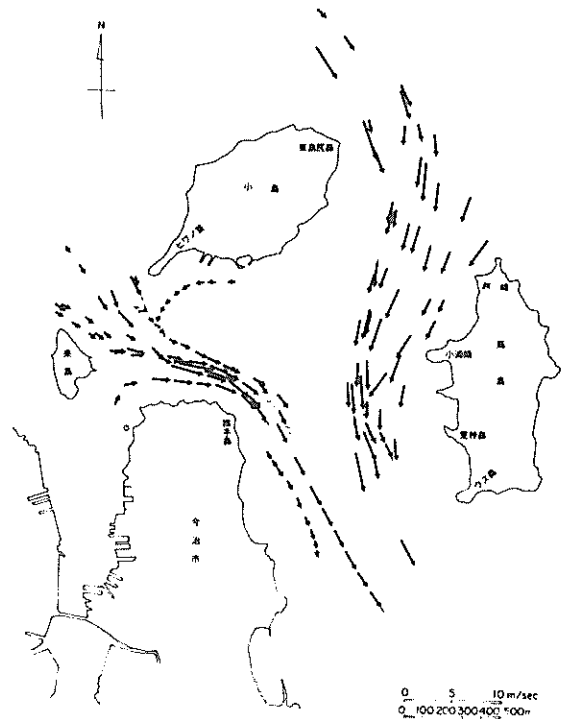


図-9 フロートによる現地流況観測

なおここで注意すべき点は、この観測結果を模型実験による流線（図-7参照）と比較した場合、多少の差異はあるがほぼ似た傾向を示しているということである。しかし、ベクトル表示との比較については、これは第2報<sup>2)</sup>で述べているように現地のフロート観測はLagrangeの方法であり、実験のベクトルの測定にはEulerの方法を用いているので、両者の間に異なった結果が生じるのはやむを得ないことであろう。

### (3) 流速鉛直分布

この測定は対象となる水域の鉛直方向における流況変化を調べるため、十分な水深でかつ流れの変化が著しく現われると考えられる位置7点を選び図-10-1~7に示した。なお、流向の分布は各計測 line を軸に流下方向を0°として、右寄り（小島と今治側）をさらに左寄り（馬島側）を表わし、図示の値はすべて平均角で表わしている。

まず流入地点A-2の流速分布は、表層より底層にかけて滑らかな曲線を描き、流向も水深の各層において左寄りで似た性質を示している。

次にC-2については、図-7を参照すれば明らかなようにコノ瀬から形成される後流端に位置しているため、表層付近の水平面内で混合現象が生じたものと推定される。すなわち、表層から中層にかけて流速が漸増し、水深12cm（30m）に最大流速19.3cm/sec（305cm/sec）が現われている。また流向分布においても変化がみられ、表層から中層までは左寄りを底層（水深16, 18cm）は右寄りと複雑な様相を示している。

ここで留意しなければならないことは、前述したように流向を平均角で図示しているので変動した量がわからない。そこで測定結果によると、表層から中層にかけての左寄りの流向は50°~60°の変動幅があり、底層の2測点は大体20°と変動も小さくなっている。

F-3では、この水域付近の流れが屈曲しながら流下しているため、前測点とは反対に流向も大きく右寄りに変化した。また流速は水深2cmを除けば、比較的直線状の分布で底層にしたがうにつれて漸減している。

H-5は小浦崎の沖方で水道のほぼ中央に位置しているが、小浦崎に圧流された沿岸流が水道中央に向って押される傾向が強く、分布にもその影響が現われている。たとえば、流向分布からみると明らかにすべて右寄りを示しているものの、表層から中層まではほぼ似た性質であり、中層より底層にかけて次第に小さくなって水道に平行になるような傾向が現われ始めている。この要因については、海底地形あるいは上述の小浦崎の影響が大きいものと考えられる。また、流速分布は表層が速く底層

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上流側のF-3よりも平均流速で約16%の減少をみせている。

J-5は表層と底層の流速差が大きくなり、さらに上流側のH-5よりも平均流速で約1.4倍に増速している。これは図-8のベクトル表示からも観察できるように、小浦崎の前面を通過した流れと指手鼻付近からの流れが集中し、加速されるのが最も大きな原因と考えられる。したがって、流向分布からも明確に水道に平行に進む傾向を示している。

次にL-5の流速分布は、表層より中層付近の流速が速くJ-5と似た性質をみせているが、中層から底層にかけてはJ-5よりも多少勾配が急になっている。また流向分布は、表層より底層までほとんど変化なくすべて左寄りを示し、求島瀬戸からの流れの効果が有効に作用しているものと思われる。

流出地点N-5は、中層付近の流速がほぼ様な分布を示し、表層および底層にかけて流速は漸減している。一方、流向分布はL-5と似た性質を持っているが、N-5はL-5のそれよりもさらに大きく左寄り向きを変えている。

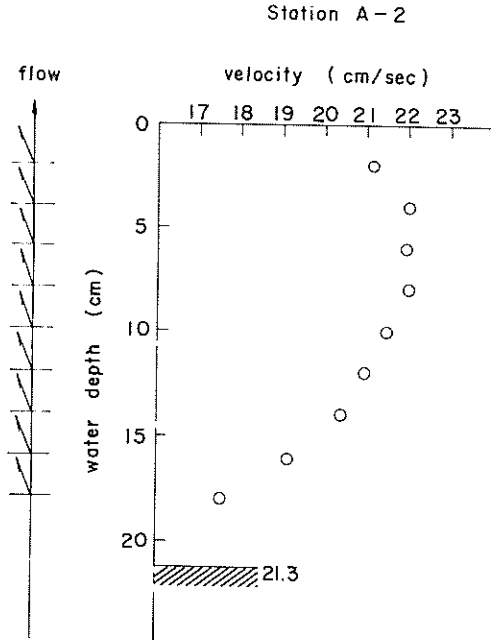


図-10-1 流速鉛直分布 (case 1)

Station C-2

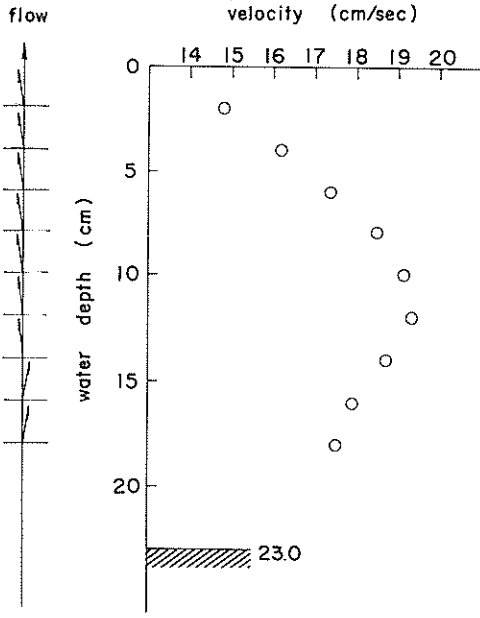


图-10-2 流速鉛直分布 (case 1)

Station H-5

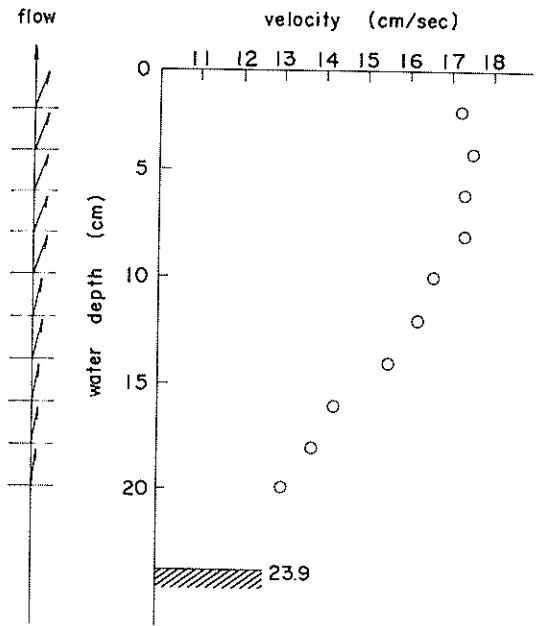


图-10-4 流速鉛直分布 (case 1)

Station F-3

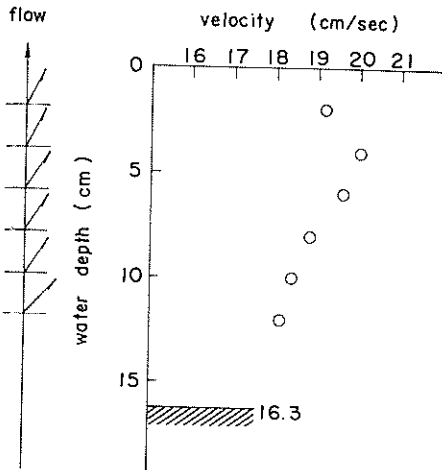


图-10-3 流速鉛直分布 (case 1)

Station J-5

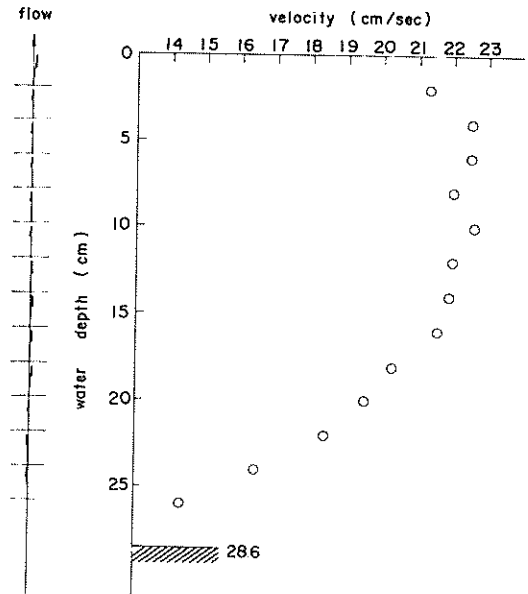


图-10-5 流速鉛直分布 (case 1)

Station L-5

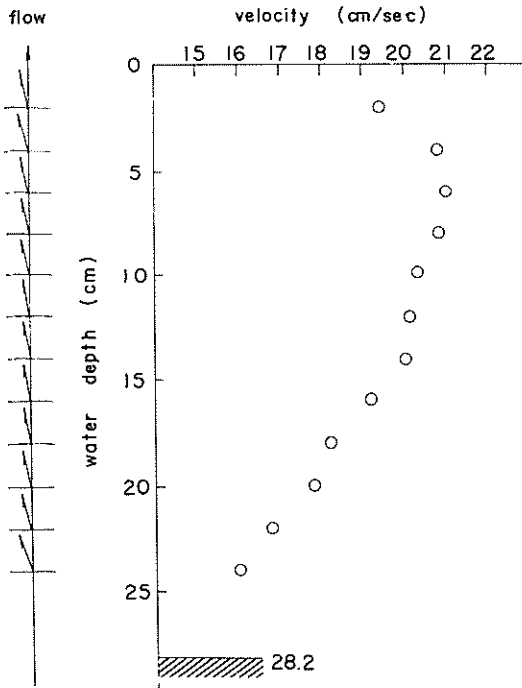


図-10-6 流速鉛直分布 (case 1)

Station N-5

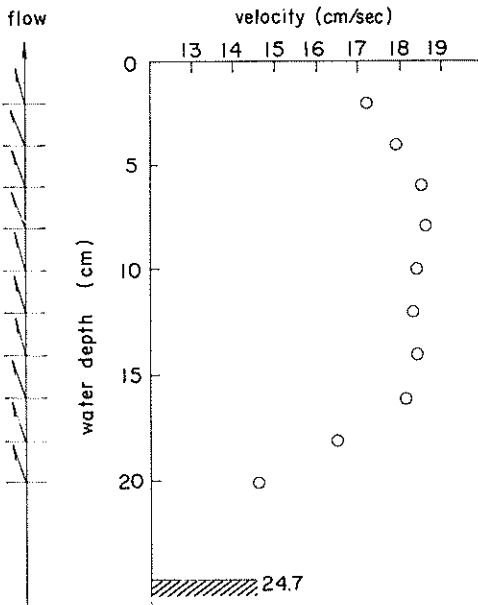


図-10-7 流速鉛直分布 (case 1)

(4) u, v 成分

u, v成分の測定位置(図-6参照)の選定にあたっては、対象水域内で最も重要視されているコノ瀬の浅海部を改良した場合、地形改良によってその周辺の条件はそれに応じて変化するものと考えられるので流れの性質変化を調べるため、コノ瀬付近から下流側に縦方向2.5cm(100m)横方向5cm(20m)の測点を設けて測定した。

u, v成分の決めかたとしては前報告で述べているように、各々の測点で1, 2, 3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とし、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。たとえば、平均の流れが水平面内においてY軸となす角を $\theta$ 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の値を算出した。

まず現況時の流況について図-11-1~11-11に示す測定水深2, 6, 8, 10, 12, 14cm(5, 15, 20, 25, 30, 35m)におけるu, v成分を上流側からA, A', B, B', C測線の5断面としてその流速, 流向を表わしている。なお、測定水深8cmより以深はコノ瀬の地形改良によって、その下流水域で最も影響を受けると考えられる計測

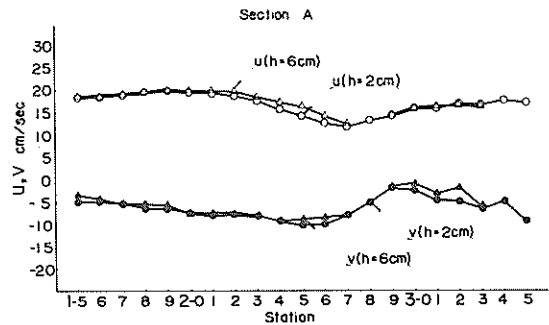


図-11-1 u, v成分 (case 1)

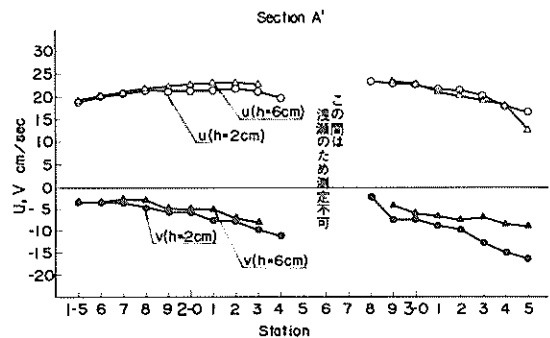


図-11-2 u, v成分 (case 1)

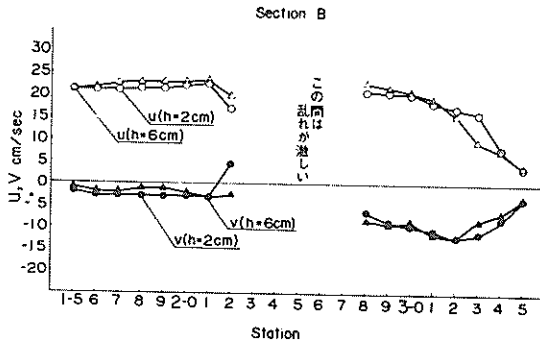


図-11-3 u, v成分 (case 1)

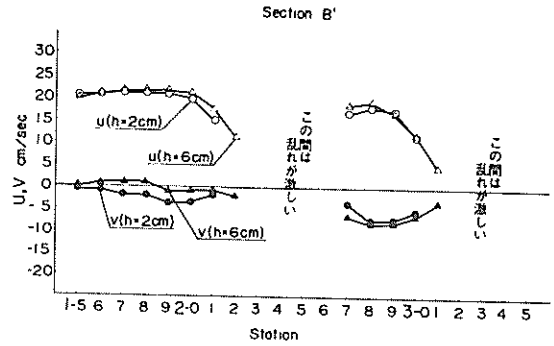


図-11-6 u, v成分 (case 1)

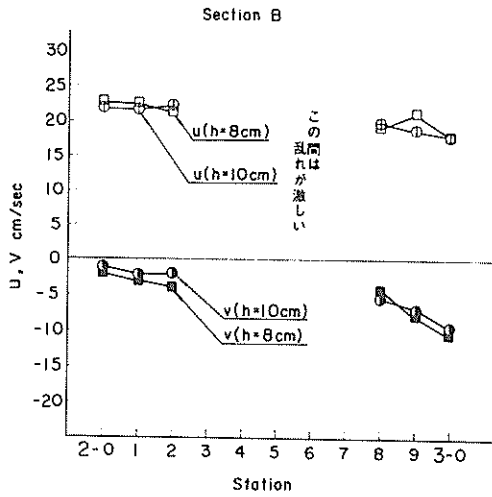


図-11-7 u, v成分 (case 1)

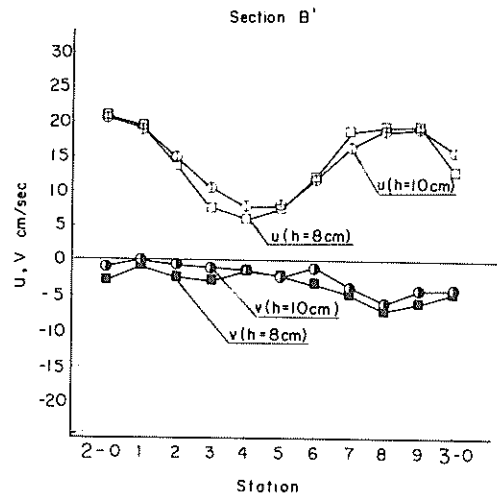


図-11-4 u, v成分 (case 1)

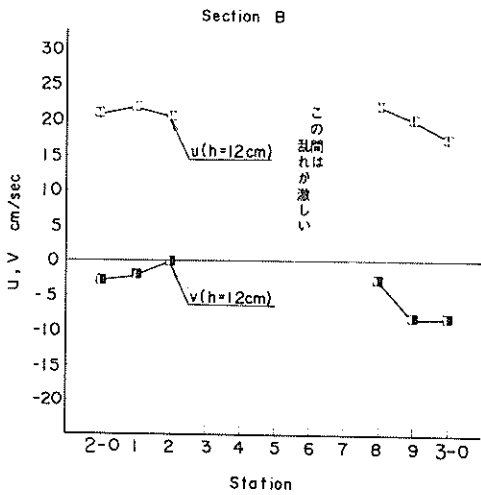


図-11-5 u, v成分 (case 1)

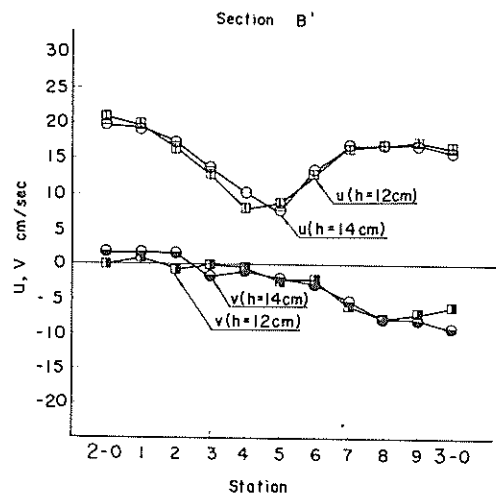


図-11-8 u, v成分 (case 1)

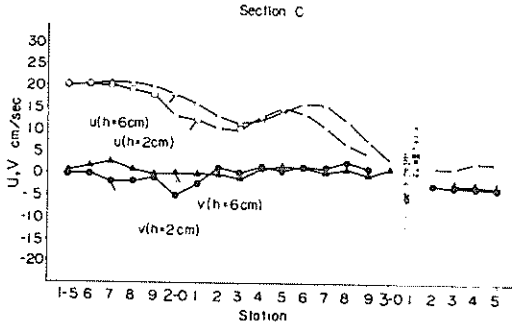


図-11-9 u, v成分 (case 1)

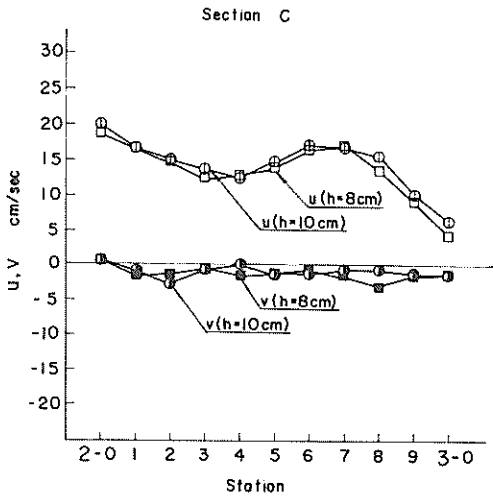


図-11-10 u, v成分 (case 1)

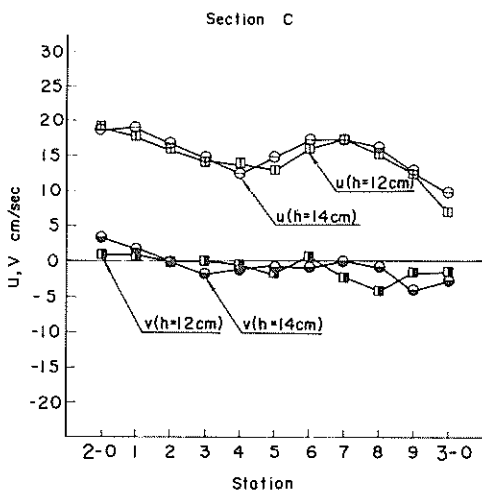


図-11-11 u, v成分 (case 1)

line 2~3および測線B, B', Cの範囲で流れの性質変化を調べた。

上流のA測線を見ると、測定水深2cm, 6cmのu, v成分は多少の差異はあるがほぼ等しい流速、流向を示している。u成分は沖方のA-1-5から2-3までは流速18~20cm/secの値で一様な分布を示し、A-2-4から2-8にかけ次第にコノ瀬の影響が現われ始め流速も低下するが、小島に近づくにしたがい再び流速が漸増している。しかしながら、その値は沖方の流速には達していない。一方、v成分はすべて負の値すなわち左寄りの傾向を示し、図からわかるように分布はu成分で述べたコノ瀬の影響が明らかで、A-2-6から2-9にいたる間で急激に減少して0の値に近づいているのは、Y軸（各計測lineに平行に流下方向）の方向に流れが変化したことを意味している。したがって、コノ瀬の突起がこのような流れを与えこの付近で分離していることは明瞭である。

A'測線ではコノ瀬の浅部に位置しているため、測定水深2cmでA'-2-5から2-7までおよび水深6cmのA'-2-5から2-8までは、流速計の構造上の問題を含め測定を行なうのは不可能であった。沖方の分布より明らかに水深2cm, 6cmのu, vともほぼ等しい傾向を示し、沖からコノ瀬浅部に近づくu成分はわずかに増速され、一方のv成分は左寄りの傾向が強くなっている。またコノ瀬から小島よりの流れでは、uが小島に近づくにつれ漸減しているがvは反対に増加し、水深によってその傾向が異なっている。たとえば、A'-3-2より3-5まで水深2cmは急激に増大し、水深6cmではそれほど変化をみせていない。

この要因について考えられることは、小島に圧流された流れが東島尻鼻によってはみ出されたことにより、水道中央に向う流れが強くなって剝離現象が生じる。これはベクトル図のところで述べたようにこの周辺の海底地形の急変等を考え合すれば、水深によって異なった現象が生じるのはごく当然の結果と言えるであろう。(図-7参照)

B測線はコノ瀬の影響が最も大きく、すべての水深でB-3-3から3-7の区間は不規則な変動を示し、特に乱れが激しく定常的な流速、流向をとら得ることはできなかった。

沖方の流れからu成分(h=2, 6cm)は総体的に流速21cm/secの値で一定し、v成分も0の値に近くY軸に対してやや左寄りであり、u, vの水深2cmのB-2-2を除けば分布から明らかにコノ瀬の影響は受けていないことがわかる。一方、小島よりの流れのu成分(h

= 2, 6 cm) は B-2-8 で 20 cm/sec が B-3-5 で 5 cm/sec と共に流速が低下し、v 成分においても B-3-2 から 3-5 にかけて急激に流向を変化させている。これは前述した東島尻鼻より発生する後流の影響と思われる。B-3-5 付近は不連続面に接近しているものと考えられる。さらに測定水深 8, 10, 12 cm の u, v 成分は水深 2, 6 cm とくらべ多少の差は見受けられるが似た性質を示している。

B' 測線については、乱れの激しい地点が 2 箇所に見われ B'-2-1 から 2-6 の区間はコノ瀬の影響であり、B'-3-1 から 3-5 は前に述べた東島尻鼻より発生する後流領域であることが図-7 の流線からも明確である。沖方の u 成分 (h = 2, 6 cm) は B'-1-5 から 2-0 まで前測線とほぼ等しいが B'-2-2 の水深 6 cm で約半分の流速低下がみられる。一方の u 成分は、B'-1-5 から 1-8 で水深 6 cm が正の値すなわち右寄りの傾向が現われ始めている。また、小島よりの流れは大体前測線と同じ分布を表わしている。

次に測定水深 8, 10, 12, 14 cm における u, v 成分の分布から明らかなようにようやく激しい乱れが消失している。しかしながら、コノ瀬の影響が若干減少するけれどもやはり存在し、速度分布が特有の変化を示しその流速差がきわめて顕著である。たとえば u 成分をみると、乱れが激しかった区間で B'-2-4 を原点にとった場合に流速は左右に漸増し、水深が深くなるにしたがい分布形は緩勾配になって、乱れが漸減していく様相を示している。また u 成分の水深 8 cm 以深では、沖から島よりにかけて次第に流向が左寄りになる傾向が強くなっていく。

C 測線にきて測定水深 2, 6 cm でようやくコノ瀬による乱れの激しいところが消失し、さらに東島尻鼻から発生する後流領域が前測線に比べその幅を狭くしている。u, v 成分 (h = 2, 6 cm) は乱れは消えているが一様な分布を示していないことが明らかで、特に測定水深によつては C-2-0 および 2-7 付近で水深 2 cm と 6 cm の流速差が 5 cm/sec (7.9 cm/sec) 程度あり、やや複雑な流れが存在しているものと考えられる。u 成分は一部を除けば総体的に Y 軸に対して平行あるいは若干右寄りを示し、前測線で多少その傾向が現われ始め流下にもなつて水道中央に向う様相を強めている。

測定水深 8, 10, 12, 14 cm の u 成分は、コノ瀬の影響を受けないところの流速は前測線とほぼ等しい値であるが、影響を受けていたところでは約 2 倍に増速している。したがって、水平面内における流速の差が小さくなっていることは、流下にもなつて粘性のためにエネ

ギーが消失した結果によるものと思われる。また、v 成分は前測線と比較すると一様な分布となつて大体 Y 軸の方向に流れる模様である。

## 5-2 Case 2 コノ瀬 Cut - 20 m

この実験 case は、西水道の渦流発生で航路に接近しているコノ瀬の存在が最も大きな要素を持っており、加えて航路が彎曲し見透しが悪いため、操船者に心理的な不安感を与え特に南流時が危険である。したがって、コノ瀬の岩礁を撤去して水深 20 m とした場合、改良地形による流れの性質を調べた。なお、掘削面は現地における作業を考えれば、平坦に仕上げることは非常に困難と思われる。そこで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上述の事項を考慮し、さらに粗度の要素を加えて小さいイボを設けた。

### (1) 流線

図-12 に示した流線から明らかに西水道に流入する流れは、コノ瀬の浅部を除去した関係から乱流領域が消え整流されたことは効果的である。

そこでコノ瀬の地形改良によって現況時の流線から変化したとみられる水域は、流入地点より F 測線までは 1 ~ 4 line に現われ、F 測線より下流水域では小浦崎から発生する後流がわずかに沖方に移動していることがわかる。この内乱流領域を除いた水域で特に変化したところを示せば、たとえば 1 ~ 2 line の中間地点からの流れについて case 1 と case 2 を比較すると、case 1 (図-7 参照) では流下にもない左寄りの傾向が強く馬島の州崎北方約 50 cm (200 m) 付近で西水道と中水道に分岐する地点が現われていたが、case 2 では下流に向つて直進する傾向で D 測線あたりから右寄りに流れを変え水道中央に向つて流下する模様である。

この要因については、case 1 では流れがコノ瀬の突起を横切つて速度がきわめて大きく、流れのすぐ後で剝離現象が生じて渦と不連続面を作っており、このために外測の流れは沖方に押されるのではないかと考えられる。したがって、case 2 ではコノ瀬の突起を除去した関係からこのような現象は説明できる。

次に他の水域における流線の状況は 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。

### (2) 流速・流向ベクトル表示

水表面下 2 cm, 4 cm, 12 cm の各測定水深で行なつた流速・流向のベクトルを図-13-1~3 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、流速および流向にその変化が顕著である。特にコノ瀬の



増深により乱流域が消失し、その周辺のA-2, B-3, C-2では流速, 流向が case 1 に比べ case 2 で大きく変化した。たとえば, case 1 に対比して case 2 で測定水深の平均から流速が減少した地点はA-2で約

10% B-3で約17%を示し, また逆の傾向がC-2で約10%の増加をみせている。この結果は図から明らかにかこの周辺における流速が case 1 では大きな差となっていたが, case 2 では一様な値となり整流されたこ

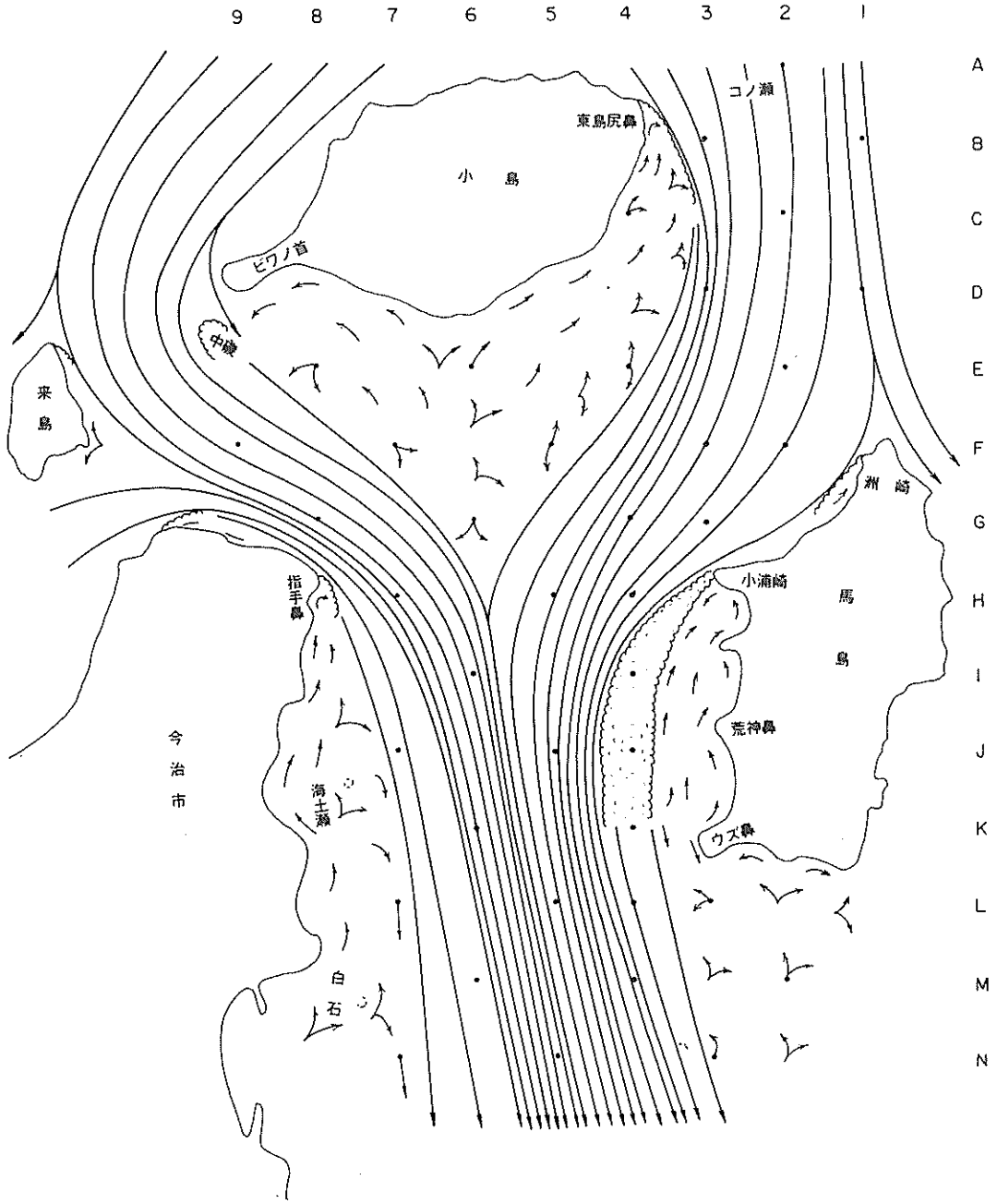


図-12 流線図 (case 2)

とを意味している。一方、流向においても同様にベクトル分布からもこのことは容易に知ることができる。

コノ瀬の地形改良による影響の内流速および流向変化

を計測 line で示せば、流入地点よりG測線までは2~3 line であり、H測線より下流域では5 line に出現している。その中でF-2, G-3の島よりの流速



図-13-1 流速・流向ベクトル表示図 (case 2)

が case 1 にくらべ case 2 でわずかに減少し、F-3、G-4 の沖方では上述の減少量がそのまま増加したように見受けられる。これらは流線で述べたように改良地形

によって、流れが流下にともない case 1 よりも右寄りの傾向が強くなったことを考え合せば当然の結果と言えるであろう。



図-13-2 流速・流向ベクトル表示図 (case 2)

次に対象水域内で最大流速を示す位置は、case 1と同じく小浦崎を通過した直後のH-4で測定水深の平均で約 27 cm/sec (430 cm/sec) を示し、case 1に比較

してわずかに増速している。

また、小浦崎より形成される後流領域の流速、流向はcase 1と似た性質であるが多少の差異はみられ、後流

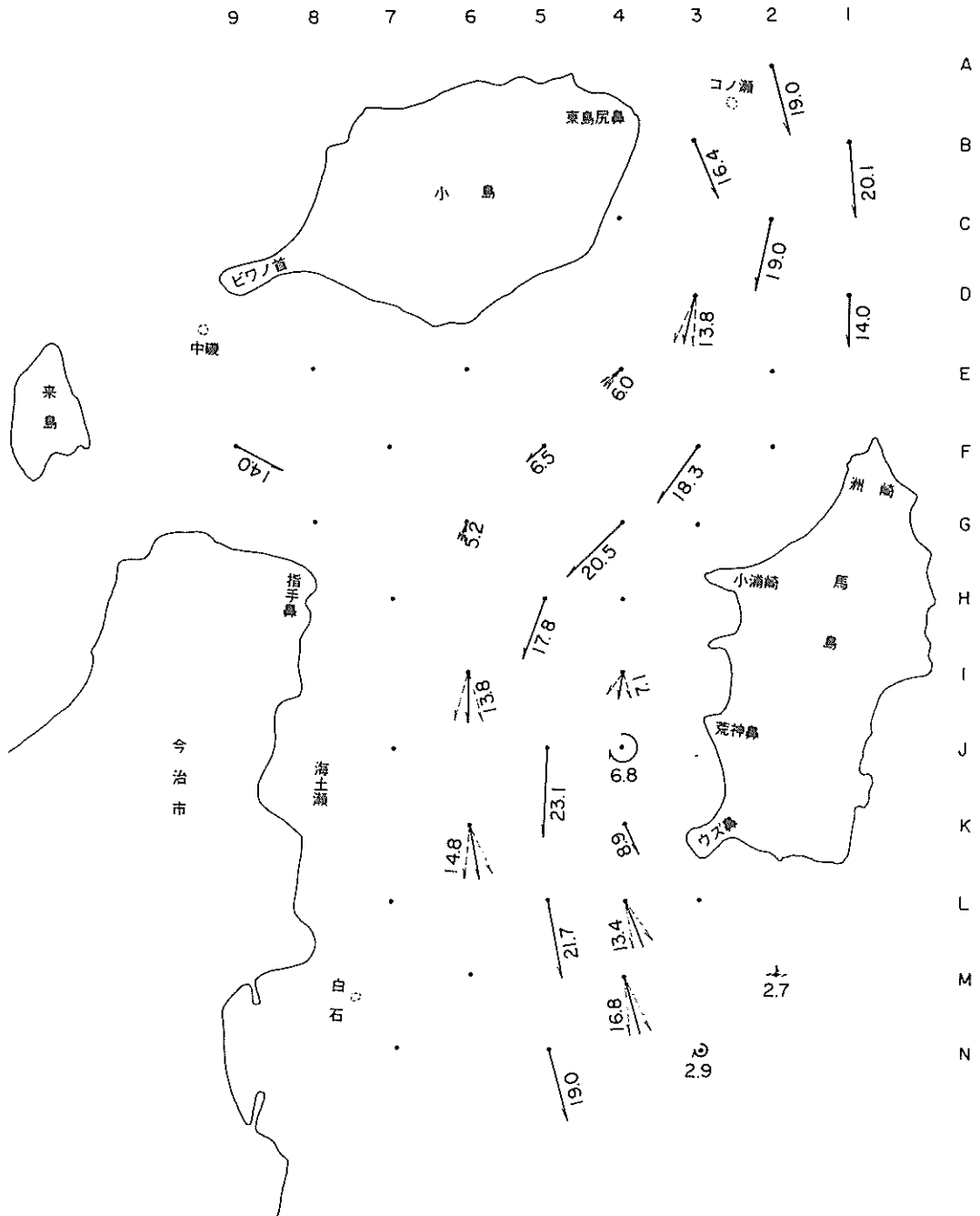


図-13-3 流速・流向ベクトル表示図 (case 2)

端が一般流と接する不連続な渦流領域では、定常的な測定値をとら得ることは困難であった。他の水域での流況の変化はベクトル表示からもわかるようにそれほど顕著でない。

### (3) 流速鉛直分布

この測定は case 1 と同じ位置で行ない図-14-1~7の各図に示している。

流入地点A-2の流速分布から case 1 と比較すると、表層より中層にかけて case 2 では直線的な分布を示し、わずかに測定水深4cmの測定値が異なっている。流速は総体的に約10%の減少がみられ、流向も case 1 より case 2 で右寄りの傾向が強くなり、地形改良の上流側においてすでに改良地形にもなり流れの効果が現われたものと考えられる。

C-2地点では、地形の改良前と改良後の流速、流向分布が最も大きく変化している場所である。前述した case 1 (図-10-2参照)では中層付近に最大流速が現われさらに中層から表層に向かって流速が漸減していることは、コノ瀬の浅部から形成される後流の影響が大きな要素を持っていた。しかし、この case 2 ではコノ瀬の浅部を除去したことにより流れが整直され、一般的に単調な広矩断面の模型水路でみられるような表層流が速く、底層にしたがうにつれ漸次減少して分布も緩やかな曲線に変化している。またA-2でみられた測定水深4cm付近の分布の乱れも、流下後のC-2においても出現していることは、単なる測定誤差とは言いきれず表層近傍の水平面内で多少の乱れが生じているものと考えられる。一方、流向分布にもその影響が大きく case 1 では底層の2点を除けば左寄りの方向を示したが、case 2 ではすべて右寄りに変化したことは、前に述べたようにコノ瀬の突起を横切った流れが沖方に押されるパターンをしていたものが、地形を改良したことによりこの周辺においての流れが平均化されたことを意味している。

F-3はベクトル図(case 1, 2参照)からも明らかに島よりの流速が減少し、その減少した量が大体3lineに移動する傾向であり、この測点における各水深の平均で case 1 よりも6%程度の増速が現われている。なお、分布からわかるように case 1 と似た性質であるが、流速の変化は底層で case 1 と大体同じ値を示し、それよりも表層に向かって漸次増大して分布形が緩勾配になっている。さらに流向分布も多少 case 1 よりも右寄りの傾向が現われた。

H-5では、上流水域での改良による流れの変化がこの地点においても影響を及ぼしている。すなわち、流速は case 1 と比較すれば表層流が減少し、中層から底層

にかけては増大して最大流速を示す位置が中層付近に移動した。したがって、中層がふくらんだ分布形で流れの方向においても同じく、流速が大きいほど右寄りの傾向が強くなっている。

このような現象が生じた要因について考えられることは、このH-5は小浦崎の沖方でほぼ水路の中央に位置しているため、おそらく来島瀬戸からの流れの影響、あるいは上流部における流れの変化が小浦崎に圧流される流況が多少異なり、そのために来島瀬戸からの流れとの合流地点が若干移動することなどがあげられよう。

J-5においては、上流側のH-5でみられた現象に多少類似しているがさらにその傾向が明確になり、表層付近で case 1 にくらべ流速の減少は約12%を示している。この付近は西水道の一般流に来島瀬戸からの流れが合流し後の流れが最も加速されている水域であり、特に流向は表層付近で左寄りの傾向が強くなり、中層から底層にかけて水道に平行あるいはやや右寄りとなっている。一方、流速は中層付近に最大流速が現われこれを軸に上下に対称的な分布となり、表層流の減少は流向からわかるように、おそらく来島瀬戸からの流れの影響で水平交換の存在が考えられる。

L-5では、上流側における同一line上のH-5、J-5と似た性質を持っているが、流下にもない流速分布は著しく変化した。すなわち、図-14-6から明らかに分布形は中層よりやや深いところが突出し、表層流と中層流が上流の測点よりもその流速差が大きくなっている。このような現象を生じさせた要因としては、上流水域での地形改良によって生じた流れの変化が大きく影響し、特に小浦崎付近の流況のパターンが現況より多少異なったことが最も大きな要素と考えられる。したがって、前にも述べたように小浦崎から形成される渦流領域が case 1 に対して case 2 では沖方に移動したと関係し、この付近がその後流端に接近したと思われる。一方、流向分布からは測定水深の各層で左寄りを示し、その傾向は case 1 と比較して多少の差異はあるがほぼ類似している。

流出地点のN-5では、流速、流向とも case 1 と似た傾向で改良地形による影響は受けていない。

以上からコノ瀬を改良した結果から鉛直方向の流速、流向について把握すれば、上流水域では効果的であるが小浦崎より下流水域(H-5、J-5、L-5)付近に及ぼす影響は、現況より流況のパターンは複雑化してくる様相を示している。したがって、上流水域の改良地形によって前述の小浦崎より下流水域に影響を与えることは、当初において考えられなかった現象であるから一連

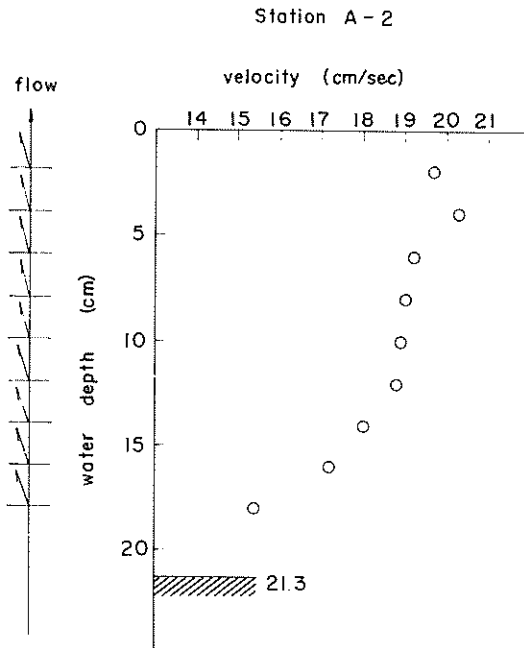


图-14-1 流速鉛直分布 (case 2)

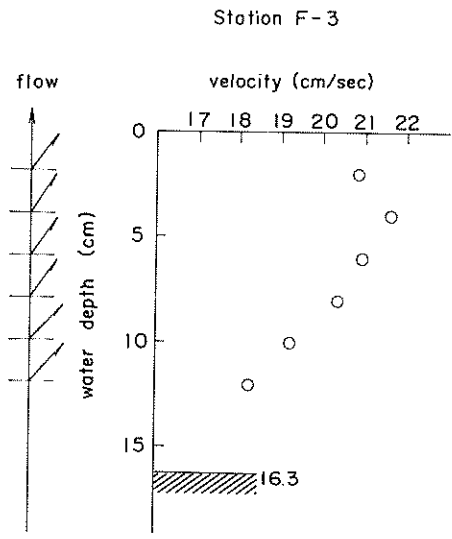


图-14-3 流速鉛直分布 (case 2)

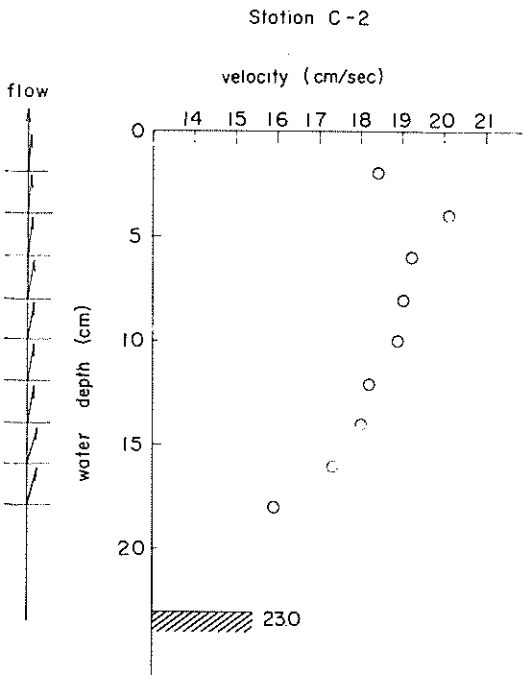


图-14-2 流速鉛直分布 (case 2)

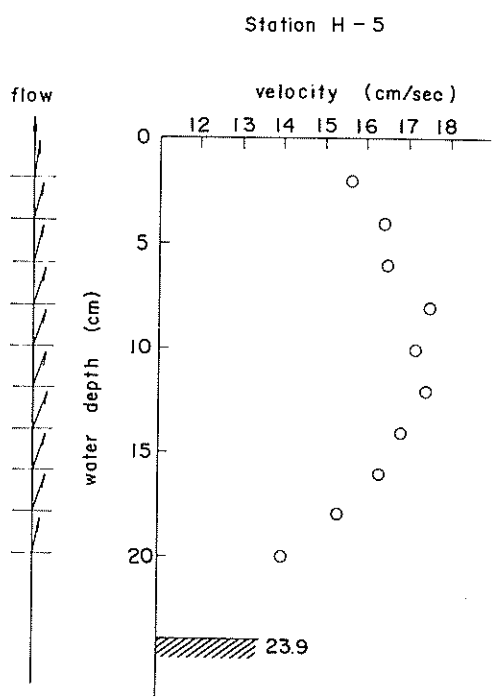


图-14-4 流速鉛直分布 (case 2)

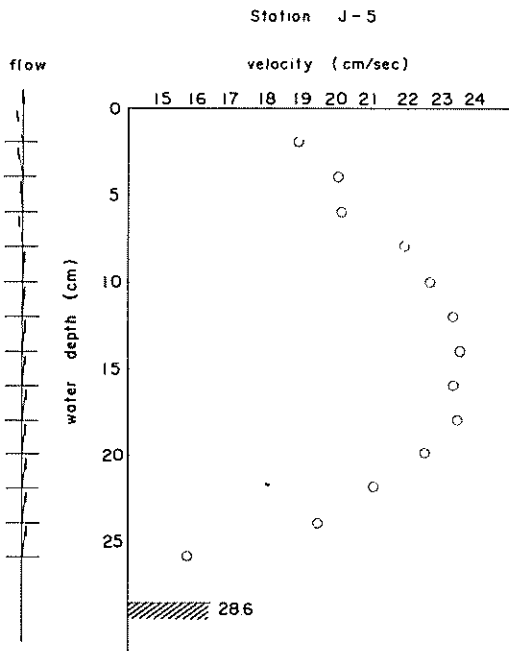


図-14-5 流速鉛直分布 (case 2)

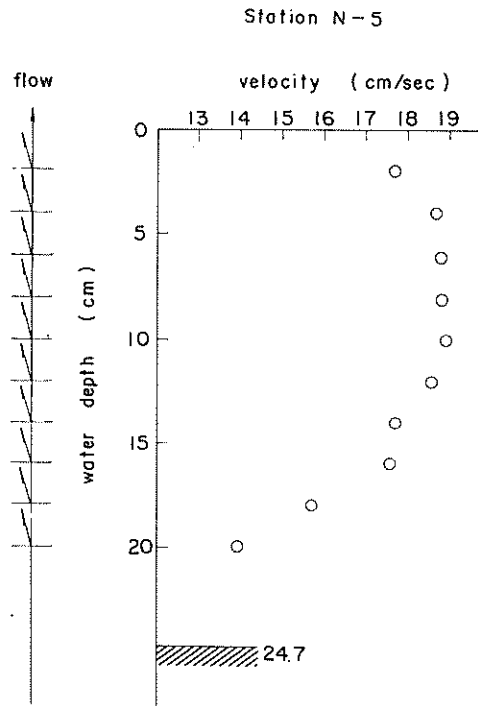


図-14-7 流速鉛直分布 (case 2)

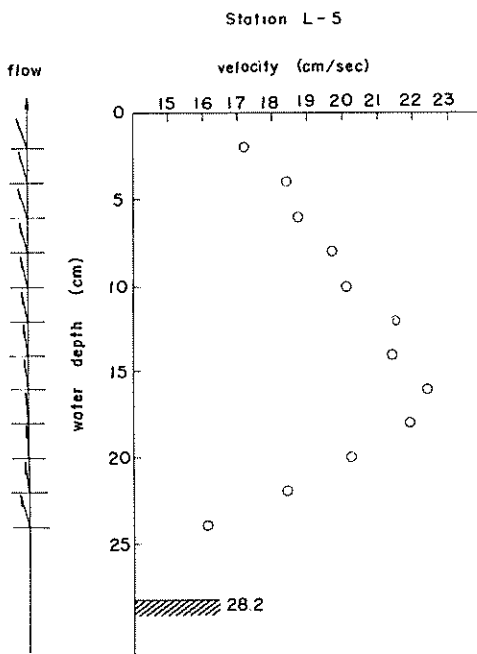


図-14-6 流速鉛直分布 (case 2)

の実験結果から推定すると、小淵崎より下流側では2つの水道からの流れが入っているため、その流速差によっては合流地点が若干変化されることが最も大きな原因と言えるであろう。

(4)  $u, v$  成分

コノ瀬の浅部を掘削した場合の  $u, v$  の測定を case 1 と同じ位置で行ないその結果を 図-15-1~11 に示した。

地形改良による流況を各測線について述べてみると、総体的な傾向は改良(掘削水深 $20\text{ m}$ )による効果が大きく流れが著しく変化し、case 1 でみられた乱流域が消失している。しかし、模型と現地とは Reynolds 数に大きな差があり、さらに乱れの性質についても模型と現地の関連性がはっきりしていないことから、ここで述べている現象は模型特有の性質も含まれていると考えられる。

まず A 測線では、図から観察されるごとく測定水深  $2, 6\text{ cm}$  の  $u, v$  成分とも一様な分布になり、地形を改良した効果が明確である。

A' 測線はコノ瀬の線上にあたるために case 1 で測定不可能な位置であったが、case 2 で可能になりその区

間を測定したら接続部がほぼ様な分布を示し  $u$  は case 1 と似た性質を呈している。しかしながら、 $v$  はコノ瀬に接近しているところで異なった分布形をしていたものが、この case 2 では沖方から島よりに漸次左寄りの傾向を示している。

B 測線については、コノ瀬浅部のすぐ背後に位置しているために case 1 で限られた区間 ( 図-11-3~5 参照 ) では、各水深で乱れが激しく定量的な流速、流向を測定することは困難であった。しかし、改良地形によって水深 2, 6 cm では B-1-5 から 3-0 までは様な分布を示し、それより小島に近づく流れはほぼ case 1 と同じ傾向となっている。一方、 $v$  成分においても case 1 の測定不可能な部分が改良により測定できるようになって、その結果によると他の部分と同じ負の値すなわち左寄りの傾向を示している。

しかしながら水深が 8, 10, 12 cm となると、 $u$  の激しい乱れは消えているが case 1 のような変動は減少するけれども若干存在し、B-2-4 から 2-6 地点では流速が減少され水深が深くなるほどその傾向は強くなっている。なお、ここで注意しなければならないことは、 $v$  が  $u$  の減少に対して流向が Y 軸 ( 流下方向 ) に平行になるが、前に述べたごとく変動幅を平均角で図示しているので実際は水平方向に  $30^\circ$  程度の値となっている。

次に B' 測線を見ると、水深 2, 6 cm の  $u$  成分が B'-1-5 から 2-9 に至る間で水平方向の平均化が進み、前測線の傾向とほぼ一致している。ところが B'-3-0 から島よりでは case 1 に対して乱れの激しいところが少なくなり、B-3-4~5 で  $u$ 、 $v$  とも負の値に変化させていることは反流域を表わしている。しかも乱れの周辺の流速、流向はきわめて小さな値であることから判断すれば、おそらく東島尻鼻からの剝離による後流と一般流が接する不連続面の変化による影響が大きく左右しているものと思われる。一方、 $v$  成分は沖方では計測 line に平行な様相を示しているが、B'-2-2 から小島に近づくにつれて漸増されていることから、 $u$  成分と同じく流れが整ったことを意味しているものと言えよう。

しかしながら水深が 8, 10, 12, 14 cm においては case 1 の水深 8, 10 cm でみられた流速の分布形の特有な変化が若干減少するものやはり存在する。なお、 $v$  成分の傾向は表層付近とほぼ類似しているように見受けられる。さらに水深 12, 14 cm では  $u$ 、 $v$  とも case 1 と似た性質を持っていることは、コノ瀬の cut が  $-2.0$  m であるためにまだその形状が残っているのが、底層付近にこのような変動が存在するものと考えられる。

C 測線でもやはり水深 2, 6 cm の  $u$  成分は、沖方より

C-2-7 まで前測線と同じ様な分布であり、しかも上流側における各々の測線で得られた流速 20 cm/sec 程度を保っている。なお、この測線上でようやく東島尻鼻からの乱れが消え島よりの C-3-1~5 で  $u$ 、 $v$  とも負の値を示している。これは剝離した地点の下流にはかならず反流が起きるが、反流と主流の境界は速度の大きさが両側で異なることになり、境界面は速度の不連続面となるからである。したがって、実際は渦と不連続面は同一のものであって、小さい芽から次第に大きさを増して発生箇所から遠ざかるにつれ、やがて渦に分裂して粘性のためにエネルギーを消失する。そこで境界層を離れ外側の主流に放出されて行くようで、このような理由から島よりの流れの変化は説明できるが、その周辺あるいは上流側 ( 流入地点 ) の地形の影響を無視することはできないであろう。

次に水深 8, 10, 12, 14 cm の  $u$  成分は、ほぼ case 1 と似た傾向を示している。一方、 $u$  成分は沖方で水深 12 cm が左寄りの流向を示し、さらに水深が 14 cm となると右寄りとなり複雑な様相を示している。

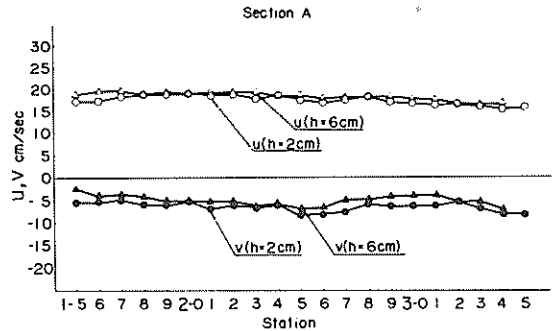


図-15-1  $u$ 、 $v$  成分 ( case 2 )

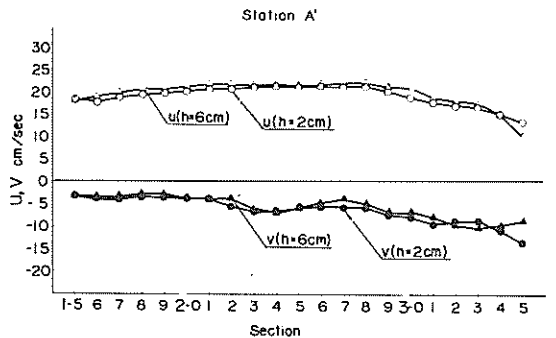


図-15-2  $u$ 、 $v$  成分 ( case 2 )



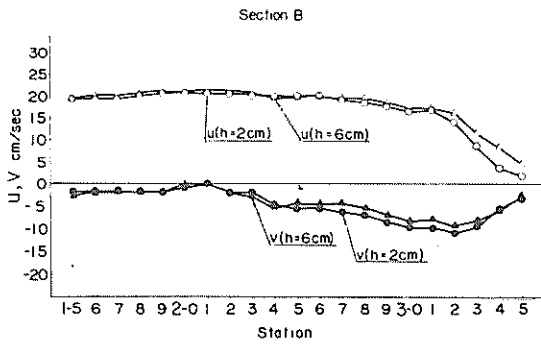


図-15-3 u, v成分 (case 2)

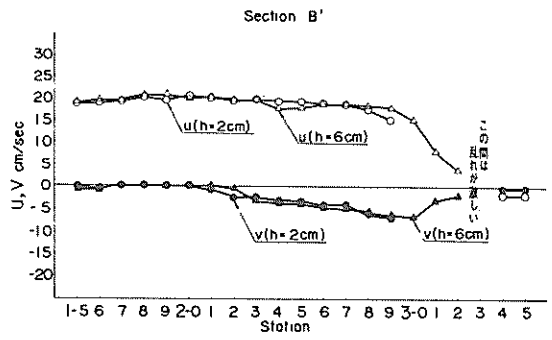


図-15-6 u, v成分 (case 2)

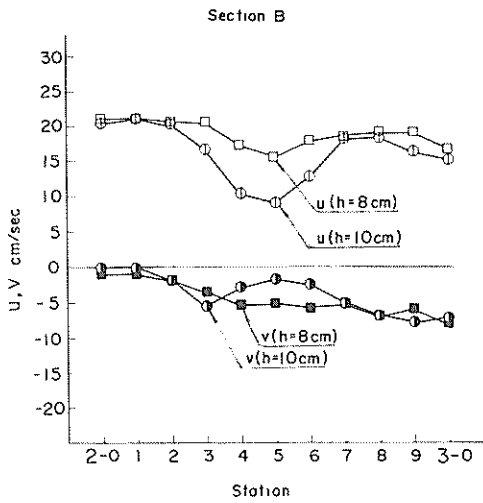


図-15-4 u, v成分 (case 2)

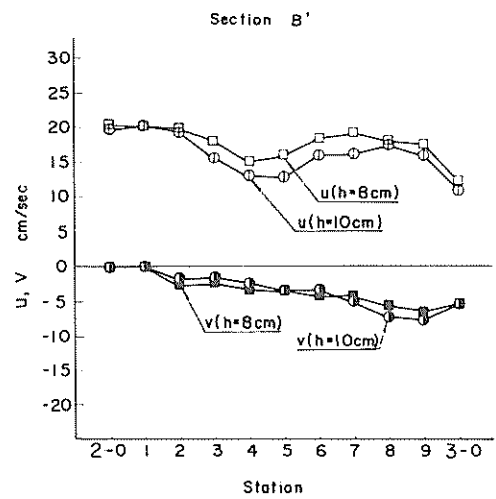


図-15-7 u, v成分 (case 2)

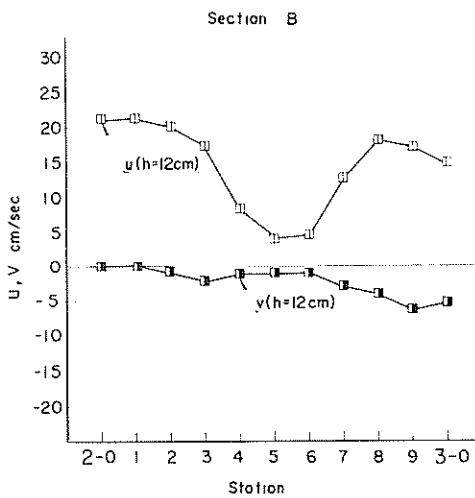


図-15-5 u, v成分 (case 2)

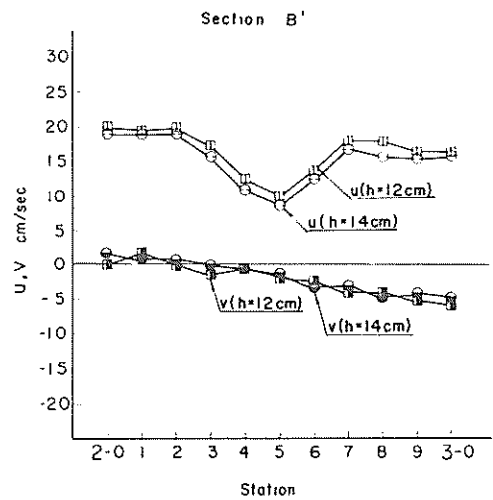


図-15-8 u, v成分 (case 2)

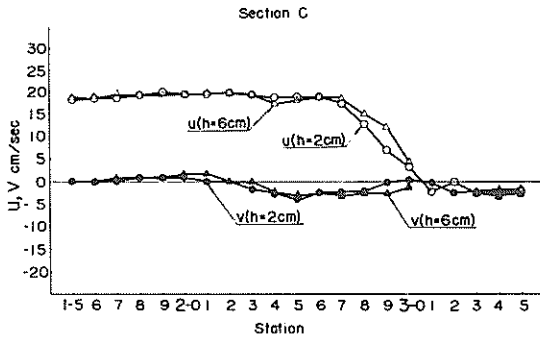


図-15-9 u, v成分 (case 2)

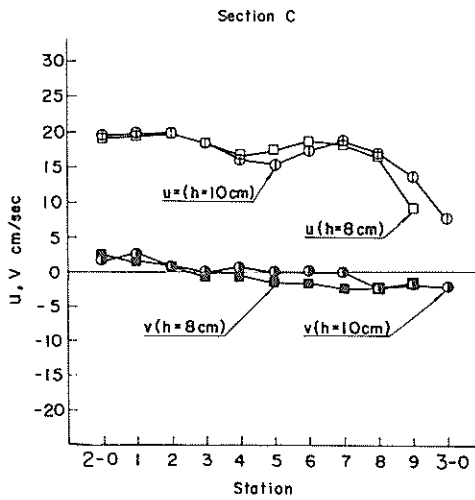


図-15-10 u, v成分 (case 2)

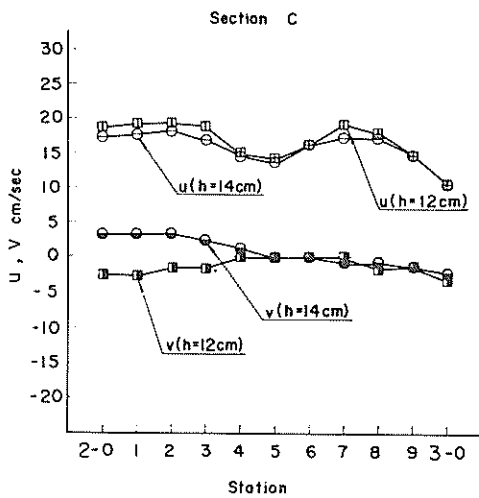


図-15-11 u, v成分 (case 2)

(5) 馬島西岸の流況

この実験は、後述する馬島の西岸部での上流端から下流端にかけて地形を改良した場合にその周辺における流況の変化を調べるため、ベクトル表示(図-13)では測定点の間隔が広いので新しい測点を設け、より正確に流れの水利的性質を得るために測定を行なった。

その実験結果によると、図-16-1~2に示す測定水深2, 4cmから明らかに総体的な流れの傾向は前述のベクトル図と似た様相をみせているが、しかしながら、追加した測点内で小浦崎から形成される後流の影響がさらに明瞭になり、広範囲な水域で攪乱現象が生じている。特に4 line上の荒神鼻前面あるいは微流速な反流域が顕著であり、これらについては第6章で流速および流向を無次元表示して説明する。



図-16-1 馬島西岸の流況 (case 2)

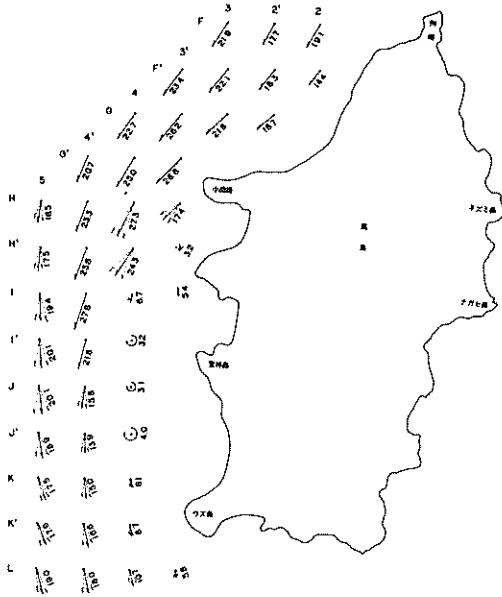


図-16-2 馬島西岸の流況 (case 2)

### 5-3 Case 3 馬島西岸の導流堤

この実験 case は、西水道における南流の大潮時に発生する州崎からの剝離現象と小浦崎からの渦流現象等を、さらに北流大潮時においても特にウズ鼻から形成される渦流の影響が大きいためにこれも考慮している。

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、海底地形に着目して導流堤の工法を試みた。この導流堤を設置した場合航路内の条件は、それに応じて流れが当然変化するものと考えられるので実験的に検討を加えることにした。ただし、コノ瀬の地形は水深-20mに改良された状態で行なっている。

ここで留意しなければならない点は、上述の導流堤の配置が南北流を考えているため、この実験が南流時を対象としている関係から case によって効果のない場合が生じるおそれがあり、それらについては後述する南北流での比較検討のところで詳しく述べることにする。なお、この実験では導流堤の底部を水深-20mとしているため、導流堤の法線より航路内でそれより浅いところは水深-20mに掘削している。(図-1参照)

#### (1) Case 3-1

写真-3に示す導流堤の法線および距離、間隔等については、まず依頼者側と実験担当者で前もって協議して決定した。導流堤の配置は上流側の州崎の陸上部から

(Distance=200m, Interval=30m, D=430m, I=150m, D=180m, I=100m, D=330m, I=50m, D=170m)下流側の馬島背後にわたる区間に設置して測定を行なっている。

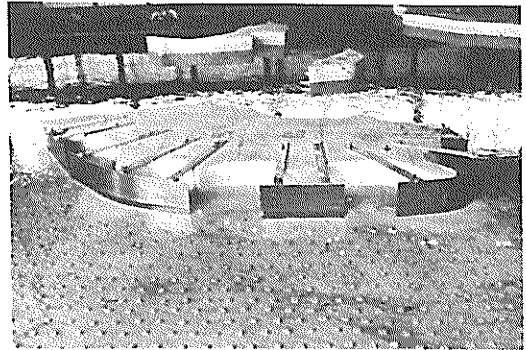


写真-3 馬島西岸の導流堤 (3-1)

#### (2) 流線

図-17によると、試験区域における上流水域の流況は大体 case 2 と似た性質をなし、流れが流下して改良地形に接近する州崎周辺でようやく変化をみせ始めている。

ここで case 3-1 の流線から case 1, 2 と比較して著しく変わった地点をあげれば、特に小浦崎から形成されていた渦流による航路内の影響はなくなって効果的である。しかしながら小浦崎を囲っている導流堤 (430m) の下流端から剝離が発生し、その距離も荒神鼻の導流堤 (180m) を含む全長約 1m (400m) もあり、さらに各々の導流堤内あるいは導流堤の間隙における流況は、弱い流れであるが不規則な変動を示して主流と反流の流速差が非常に大きい。

したがって、導流堤の設置によるその周辺における流況のパターンは、現況より複雑化してくる様相を示しており、導流堤の配置について検討する必要がある。

#### (3) 流速・流向ベクトル表示

水表面下 2cm, 4cm, 12cm の各水深における流速、流向のベクトルを図-18-1~3 に示している。

この case 3-1 で行なった導流堤の設置および部分的に海底地形を改良しているため、ベクトル図から case 1, 2 とくらべ流速、流向に著しい変化をみせている。そこで改良地形による流れの影響を受けている水域は、小浦崎の周辺から下流のウズ鼻付近にかけての 4, 5 line 上に現われている。これらによると 4 line の流速は増大し 5 line は逆に減少され、その結果は流心の

位置が島より 4 line に移動している。特に小浦崎から発生していた乱流域が消失したことにより、その下流域における 4 line (I, J, K) が case 1, 2 に比較し

て流速が増加し、その結果は流れに変動がなくなって整流されている。この影響で水道中央付近の流向が多少左寄りの傾向を示していることは、馬島よりの流速が増加

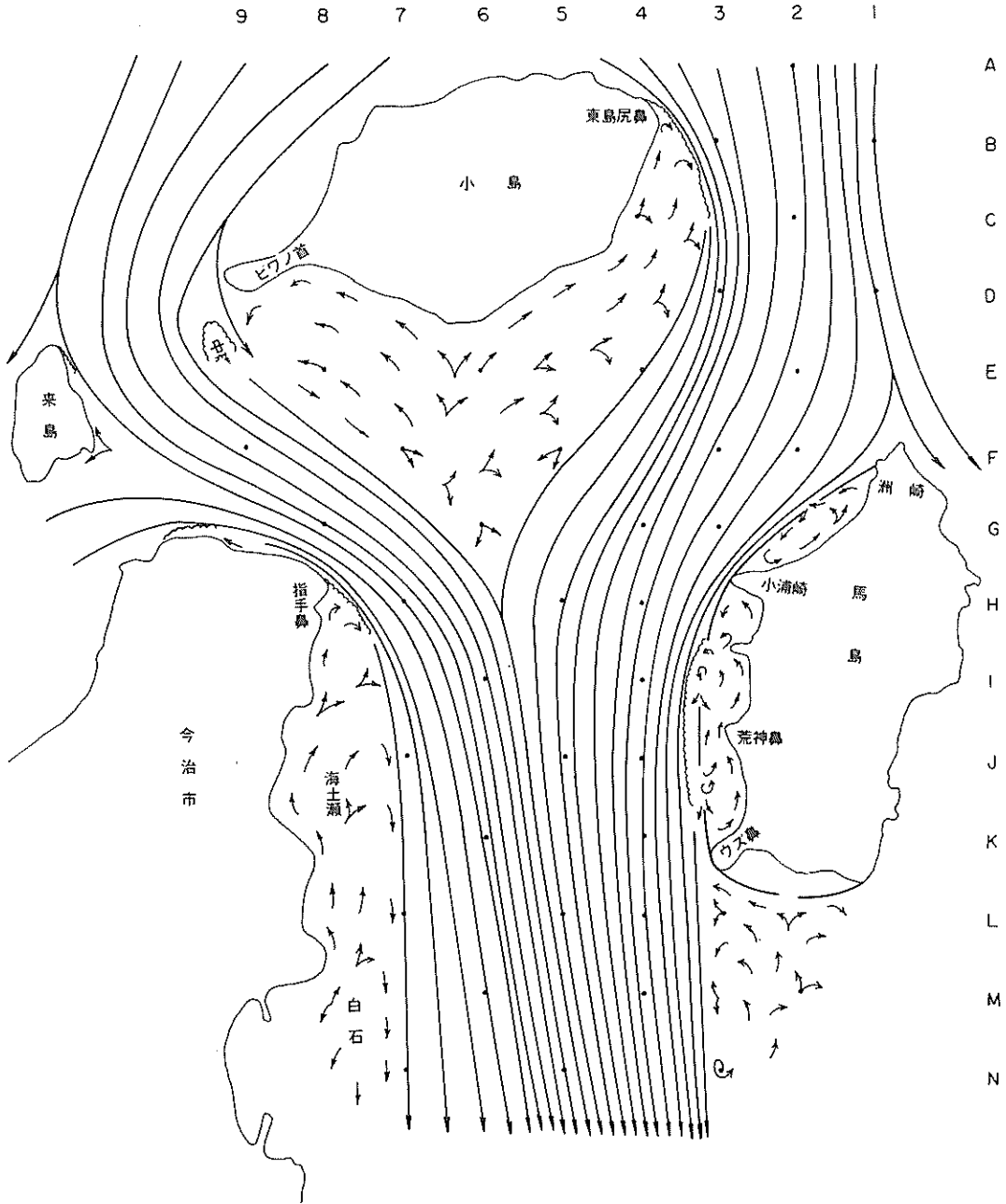


図-17 流線図 ( case 3-1 )

したことから流れが引寄せられたものと思われる。

ここで改良地形により大きく変化した地点J-4を例にとれば、水深2.4cmの平均値から case 2と case

3-1を対比すると6.5倍の流速に達した。これは case 2が後流域内に入っていた関係から流速が小さかったためであり、この caseの流速の増大は改良地形による海

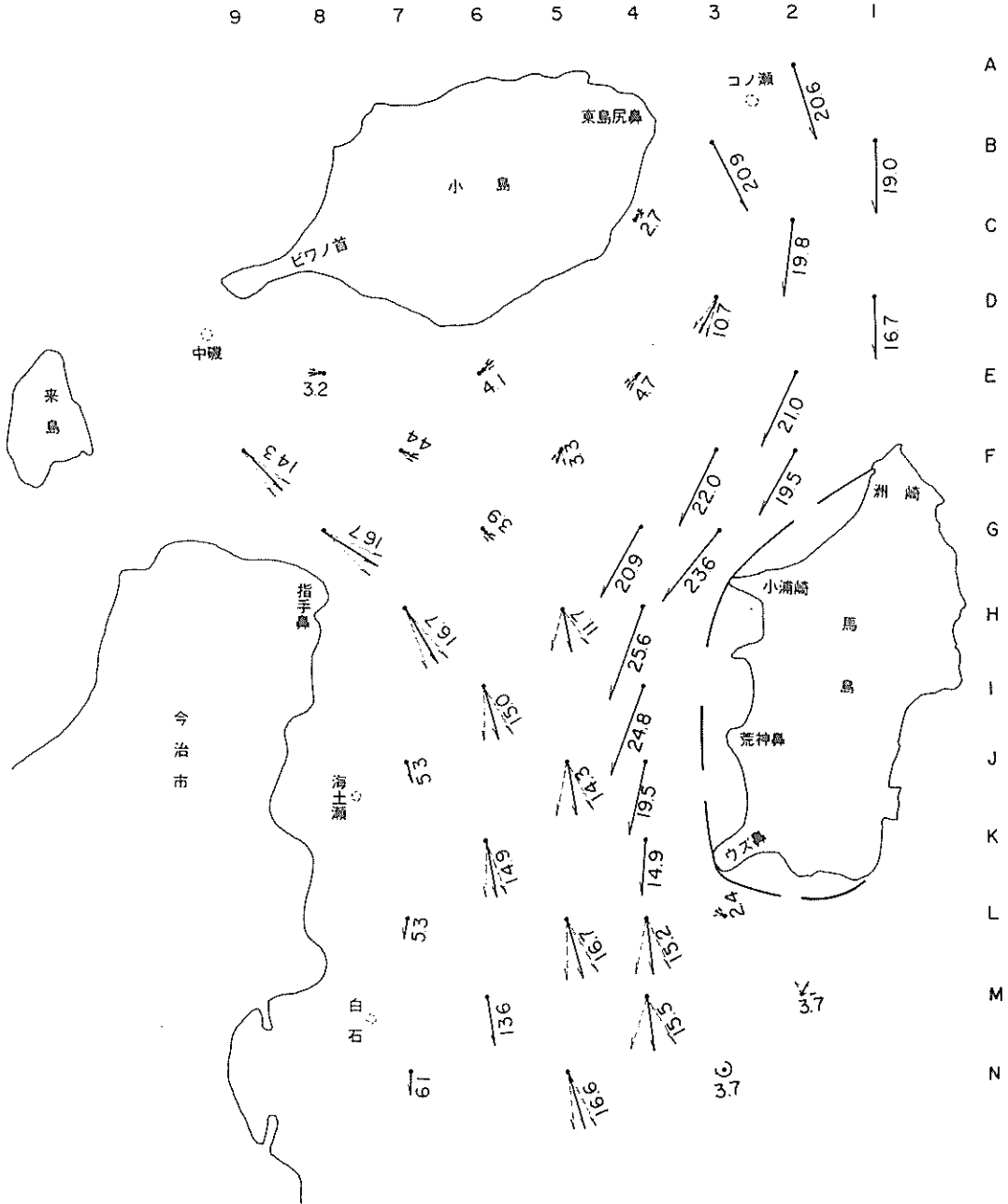


図-18-1 流速・流向ベクトル表示図 ( case 3-1 )

底および馬島側壁の粗度の減少にともなう必然的な結果と考えられよう。

次に対象水域での最大流速が現われるところでは、や

はり case 1, 2 と同じ小浦崎を通過した直後の H-4 であり、測定水深の平均で約 26 cm/sec (410 cm/sec) を示している。その他の水域の流況は多少の差異はみられ

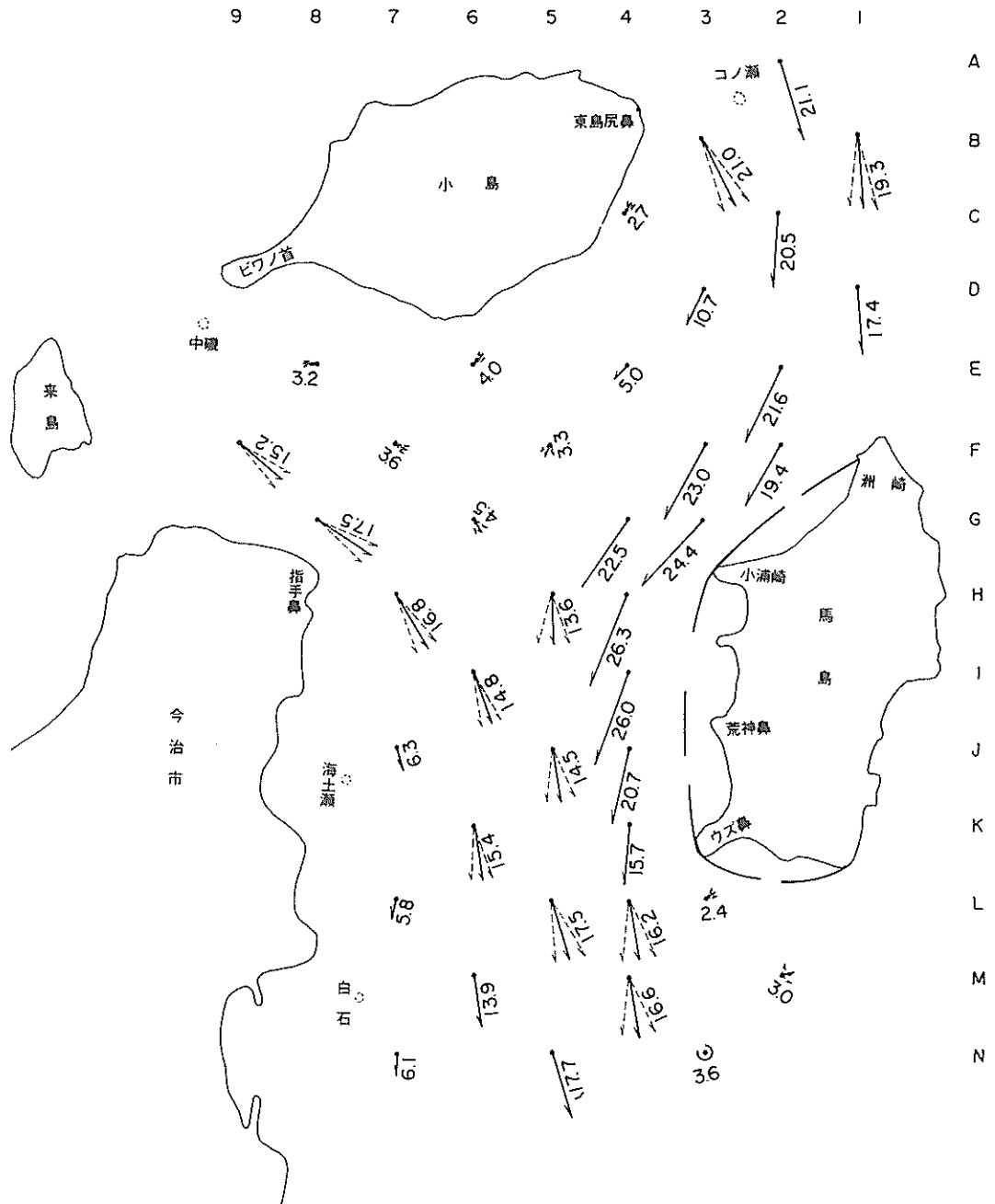


図-18-2 流速・流向ベクトル表示図 (case 3-1)

るが case 2 とほぼ似た性質を呈している。

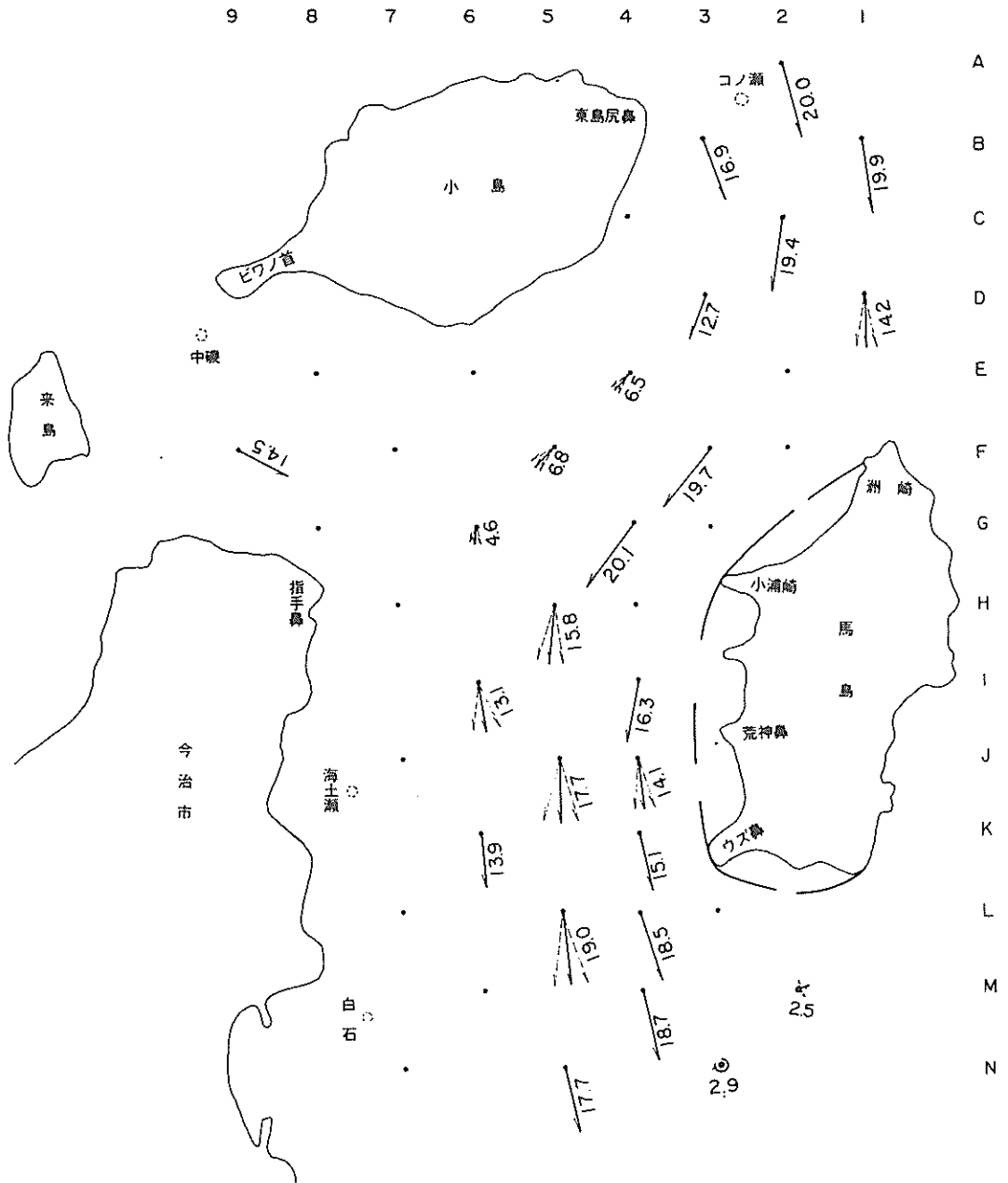


図-18-3 流速・流向ベクトル表示図(case 3-1)

(4) 流速鉛直分布

この測定は case 1, 2 と同じ位置を用いて行ないその結果を図-19-1~7に示している。前述したようにこの case 3-1 はコノ瀬の地形が改良された状態で測定している関係から、コノ瀬によって影響を受けていた下流側の水域での case 1 との比較検討は加えないこととした。

まず流入地点における A-2 では、流速の分布形が case 1, 2 と似た性質を示している。しかしながら流速値において表層から中層付近にかけて case 1 より減少し、また case 2 に対しては増加されその値はどちらも大体 5% 程度である。一方、流向の分布はほぼ case 2 と同じような傾向にある。

C-2 では同じ line 上の A-2 でみられた傾向がさらに明瞭になり、case 2 よりも中層付近の流速が若干増したことから表層より水深 12 cm ( 30 m ) までほとんど流速の差がなく、それより底層に近づくにつれ漸次減少して滑らかな曲線を描いている。ところが case 2 で述べた水深 4 cm の測定値が異なって多少の乱れが生じていたが、中層付近の流速の増加によって図からわかるようにスムーズな分布形に変っている。これは地形改良部の上流側においてすでに改良にともなう流れの効果が現われたものと考えられよう。しかしながら流向は case 2 と似た性質を持っているようである。

Station C-2

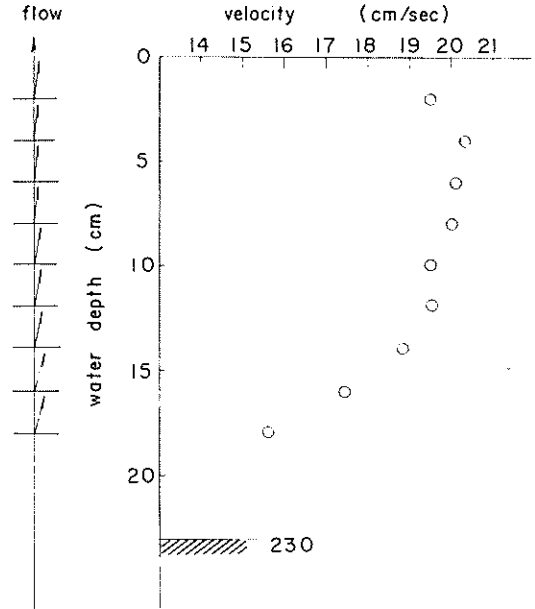


図-19-2 流速鉛直分布 (case 3-9)

Station A-2

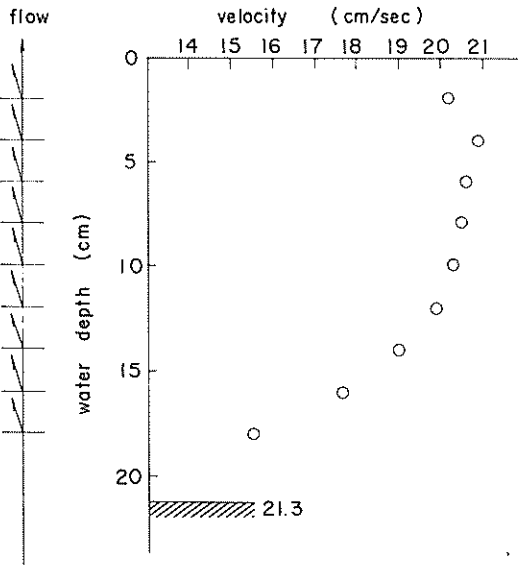


図-19-1 流速鉛直分布 (case 3-9)

Station F-3

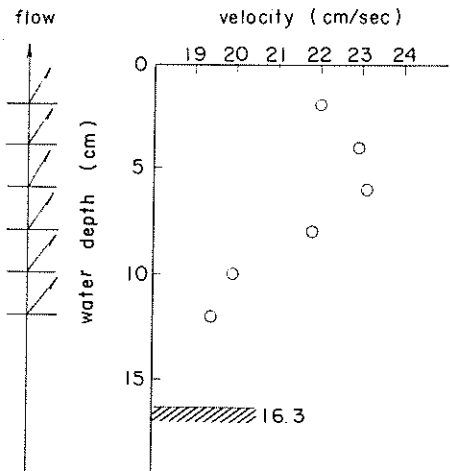


図-19-3 流速鉛直分布 (case 3-1)



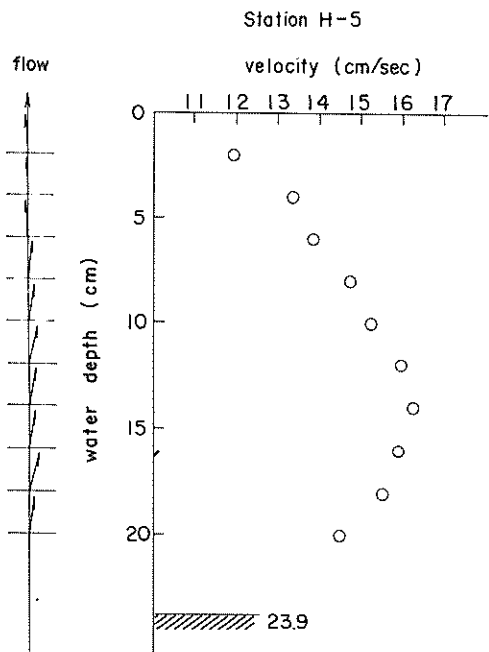


图-19-4 流速铅直分布 (case 3-1)

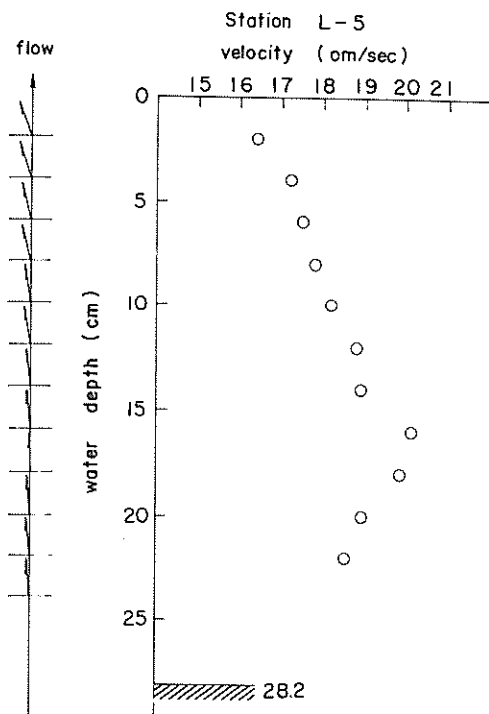


图-19-6 流速铅直分布 (case 3-1)

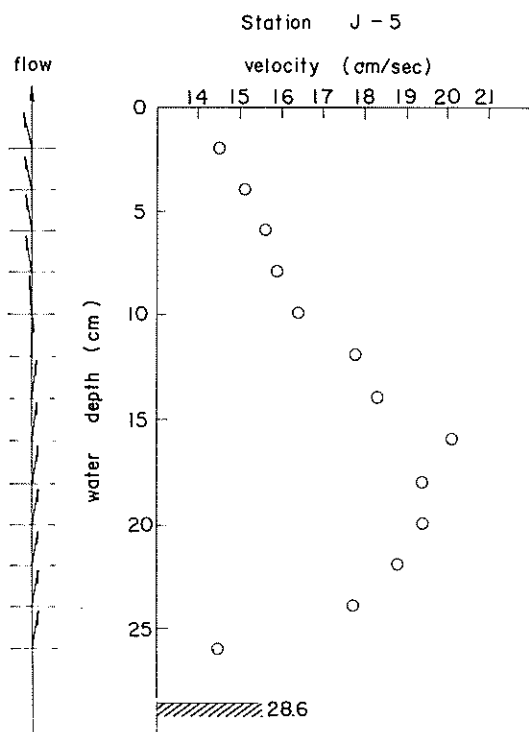


图-19-5 流速铅直分布 (case 3-1)

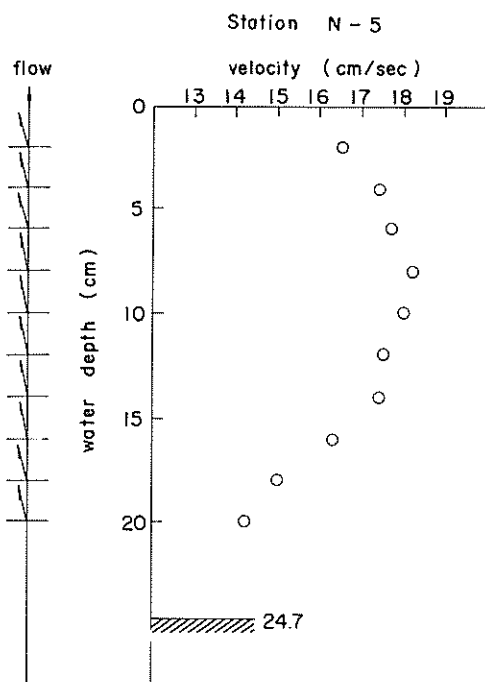


图-19-7 流速铅直分布 (case 3-1)

F-3では水深の各層で流速は増大しているが、流向には変化はみられず case 2と同様である。この測点における最大流速は case 2(水深4cm)で21.6cm/sec(34.1cm/sec)を示したが、case 3-1(水深6cm)で23.1cm/sec(36.5cm/sec)となり約7%の増加を示し、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ものと思われる。

H-5は前述した小浦崎の沖方で水路の中央に位置しているため、西水道の一般流と来島瀬戸からの流れとの合流点に接近している関係から、図から明らかなように case 2と比較して分布が大きく変化している。おそらく馬島西岸の地形改良で島よりの流れが整流されて増速した結果、水路中央付近の流れは馬島側に引寄せられることがベクトル図から明瞭である。

たとえば、case 2にくらべ表層流が低下しているがその水深の流向をみれば左寄りを示し、馬島側に方向を変えていると言うことで説明できると思われる。しかし、なぜこのような現象が生じるかは水平方向の分布を数多く測定しなければ定量的な解析を行なうことは困難であると考えられる。

J-5では上流側のH-5の現象がさらに明瞭になり、水深の各層で case 2よりも流速が減少しさらに流向も複雑な傾向が強くなり、改良の結果は case 2にくらべ最大流速を示す位置が中層よりやや深いところに移動している。

L-5の流速分布から case 2にみられた中層付近での速度分布の異状は、流速の低下とともに若干減少するけれどもやはり存在する傾向を示している。また、流向の分布は総体的に case 2と同じ模様である。

流出地点におけるN-5では、前述した case 2よりも表層から中層にかけ多少流速が低下しているが、その割合が表層付近で大きくなって図からわかるように、中層付近がふくらんだ分布形になる傾向を示している。

#### (5) 馬島西岸の流況

地形を改良した場合の流況変化を測定水深2,4cmで行ないその結果を図-20-1~2に示した。

図からわかるように case 2にくらべ case 3-1の導流堤および一部の海底地形を改良しているため、特に導流堤に近い水域の平均流速が大きく増加する傾向を示しているが、これは前述しているように海底および馬島側壁の粗度の減少にもなる必然的な結果であると考えられよう。

ここで付け加えたいことは、今まで行なった各 case のベクトル図において最大流速の発生箇所が H-4 に出現していたが、この馬島西岸の改良によるその周辺の流

況を詳しく調べるために新しい測点を設けた結果によると、最大流速の位置が G'-3' で測定水深の平均で 27.5 cm/sec(43.5 cm/sec)を示している。しかしながら参考までに case 2 におけるこの種の実験結果(図-16)では、やはり測定水深の平均から算出すると(H-4で

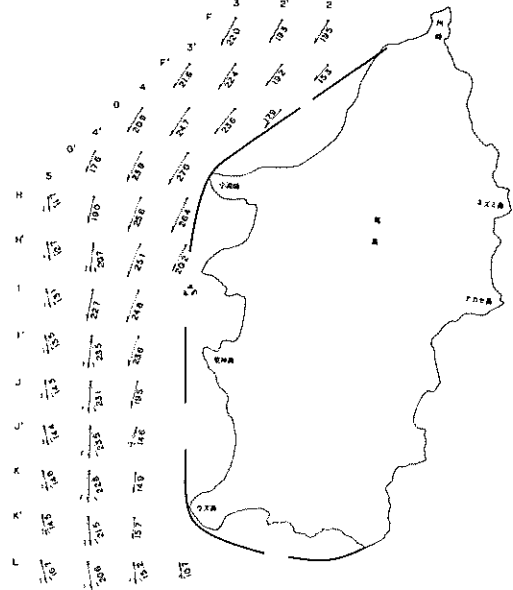


図-20-1 馬島西岸の流況(case 3-1)

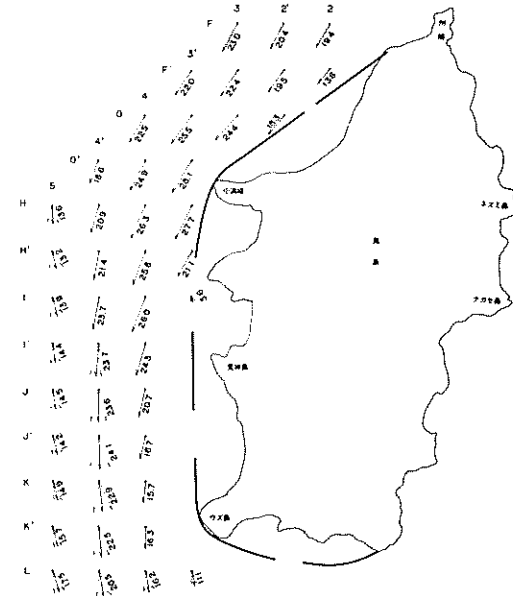


図-20-2 馬島西岸の流況(case 3-1)

2.68 cm/sec, G'-3'は 2.64 cm/sec) ほとんど同じ値を示していることは、この付近に最も大きな流速が現われることは立証できる。なお、馬島の西岸での改良前と改良後の検討については後述説明する。

(6) Case 3-2 馬島西岸の流況

写真-4に示すごとく導流堤の設置は、case 3-1で行なった中から荒神鼻前面の導流堤(180m)を取り除いた場合について行なった。したがって、他の導流堤の配置および法線はすべて case 3-1と同じである。

図-21-1~2に示した実験結果によれば、このcase 3-2において case 3-1とくらべ特に大きく変

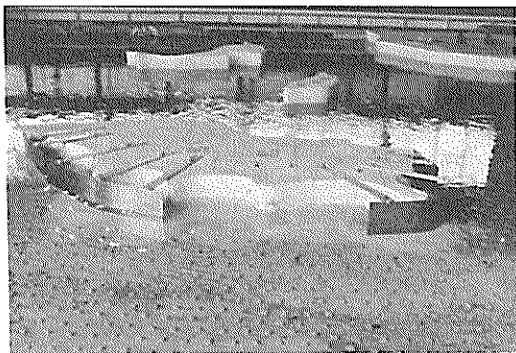


写真-4 馬島西岸の導流堤(case 3-2)

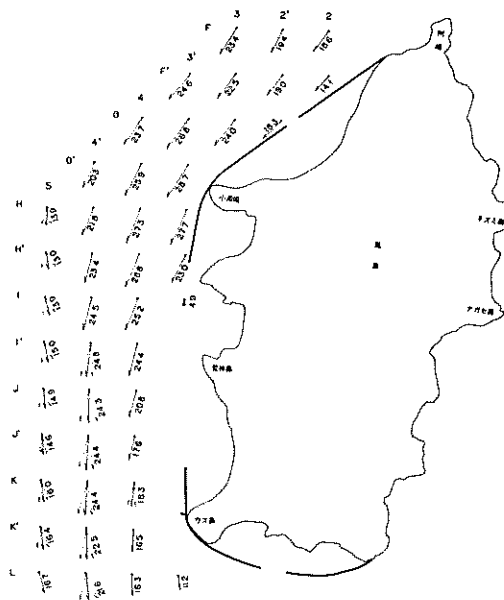


図-21-2 馬島西岸の流況(case 3-2)

化しているところをあげると、小浦崎を囲っている導流堤の下流端H'-3'の測定水深の平均で12%の増加率を示している。

この要因については、小浦崎の導流堤から発生する剝離現象(図-17参照)を過マンガン酸カリ水溶液でチェックした結果によると、case 3-1よりもcase 3-2が若干沖方に移動していることがわかった。これらの現象は荒神鼻の導流堤がなくなったことと関連して反流域が多少広くなったものと考えられる。

次に他の水域では、流速、流向に多少の差異が生じているがほぼ似た傾向を呈している。

(7) Case 3-3 馬島西岸の流況

写真-5に示すように導流堤の法線および配置等については、前述したcase 3-1, 3-2より簡易な方法を用いている。まず導流堤の距離および間隔は、小浦崎から(D=220m, I=150m, D=180m, I=100m, D=280m)ウズ鼻にわたる区間に設置して行なった。

なお、荒神鼻前面の導流堤(距離, 間隔)はcase 3-1と同じである。

図-22-1~2からわかるように、case 3-1およびcase 3-2と比較して特に流況に大きな変化がみられる地点は、小浦崎の導流堤における上流端付近のG-2で測定水深の平均値から算出すると、case 3-1, 3-2よりも流速が約27%の減少率を示し、さらに地

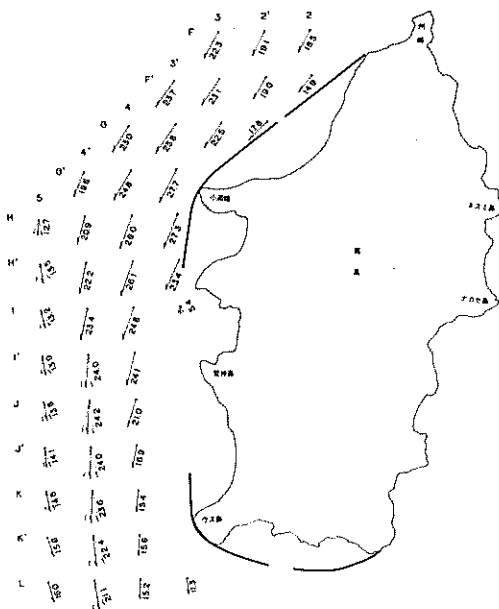


図-21-1 馬島西岸の流況(case 3-1)

形改良前の case 2 に対比しても約 11% の減速が現われている。このような現象が生じた最も大きな理由としては、まず case 3-1 および 3-2 の導流堤の配置では、この周辺における島沿いの流れを抑制しているためであり、また case 2 は自然の地形であるのに対して、この case では導流堤によって流れが分離（水道に進む流れと堤内に入る流れ）していることが図から明確であり、しかも堤内への流れは反流域となつて複雑な様相を示していることがあげられよう。

それ以外の水域では若干異なっているが大体 case 3-1 および 3-2 と似た性質をみせている。

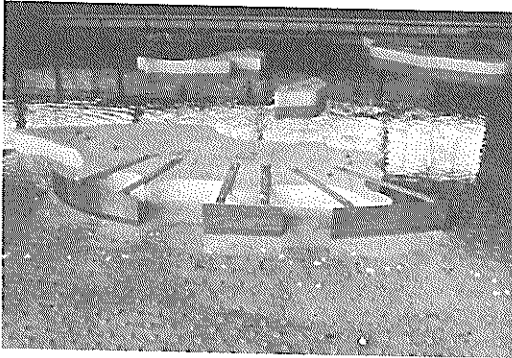


写真-5 馬島西岸の導流堤 (case 3-3)

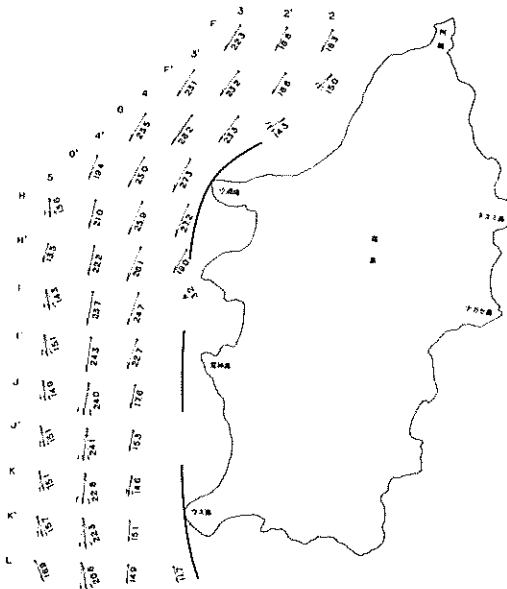


図-22-1 馬島西岸の流況 (case 3-3)

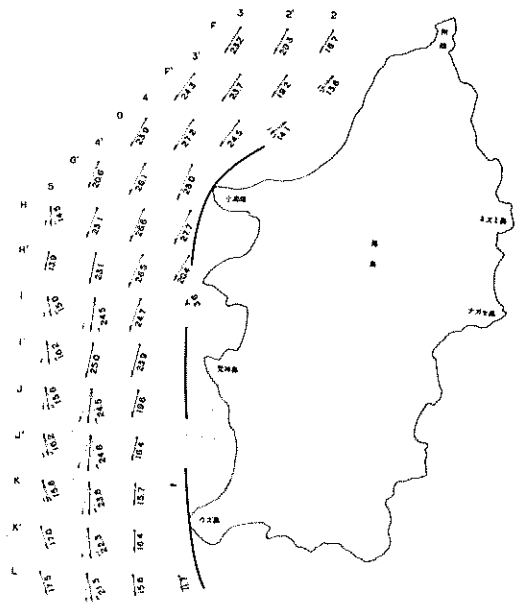


図-22-2 馬島西岸の流況 (case 3-3)

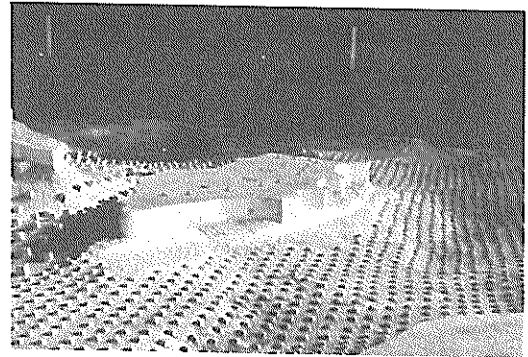


写真-6 馬島西岸 cut-20m

#### 5-4 Case 4 馬島西岸 Cut-20m

この実験 case は、case 3 における馬島西岸の導流堤を設けない場合に、航路筋から渦流をとり除くための渦流の発生原因と考えられる小浦崎の先端の一部を cut し、さらに州崎からの剝離を考え写真-6 に示すような地形に改良して行なった。(図-1~4 参照)

##### (1) 流線

図-23 に示した流線図から case 3 でみられた流況の変化がさらに明らかとなり、特に小浦崎の cut によってその下流水域で流れが著しく変った。たとえば、case 3

一1 ( 図-17 ) では導流堤の下流端から剝離現象が生じていたが、この case でそれが消失したことは効果的である。ところが小浦崎 cut の上流端からわずかに剝離

現象が生じていることは、小浦崎の改良地形における形状の取り扱いに大いに検討すべき問題である。さらに上流側の州崎周辺の浅部を掘削して水深-20mに改良し

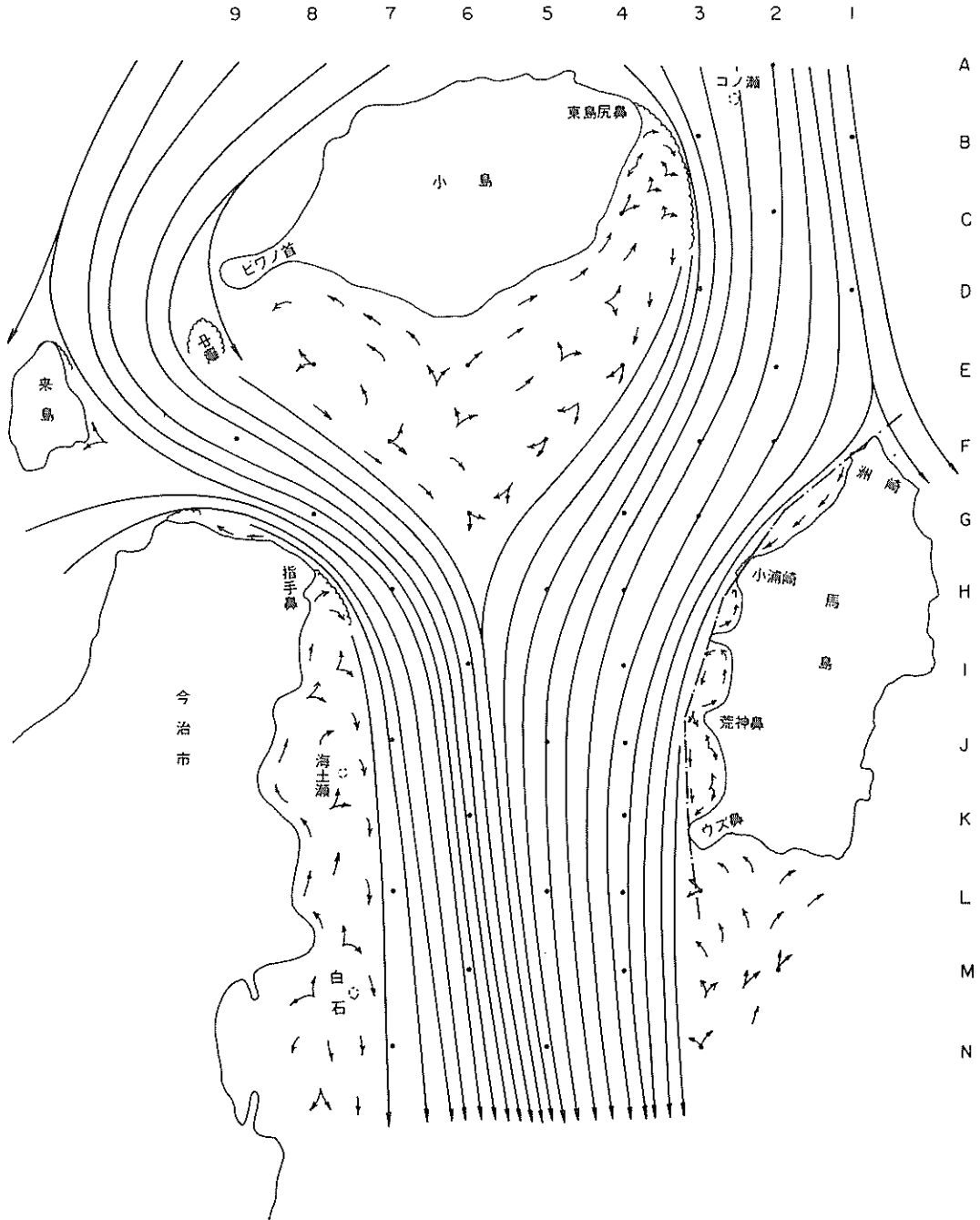


図-23 流線図 ( case 4 )

た結果は、州崎の北方で流れの分岐点（西水道と中水道）が多少島に近づいた様相を示している。

次に他の水域で case 3 と比較してこの改良地形が及ぼしたところを示せば、州崎から小浦崎にかけての島沿

いの流れで、反流が消えすべて下流に進む傾向が現われ、また水道中央付近から今治よりの主流が若干馬島よりに流線を移動させていることがわかる。

一方、小島背後あるいは今治側の反流領域では、多少

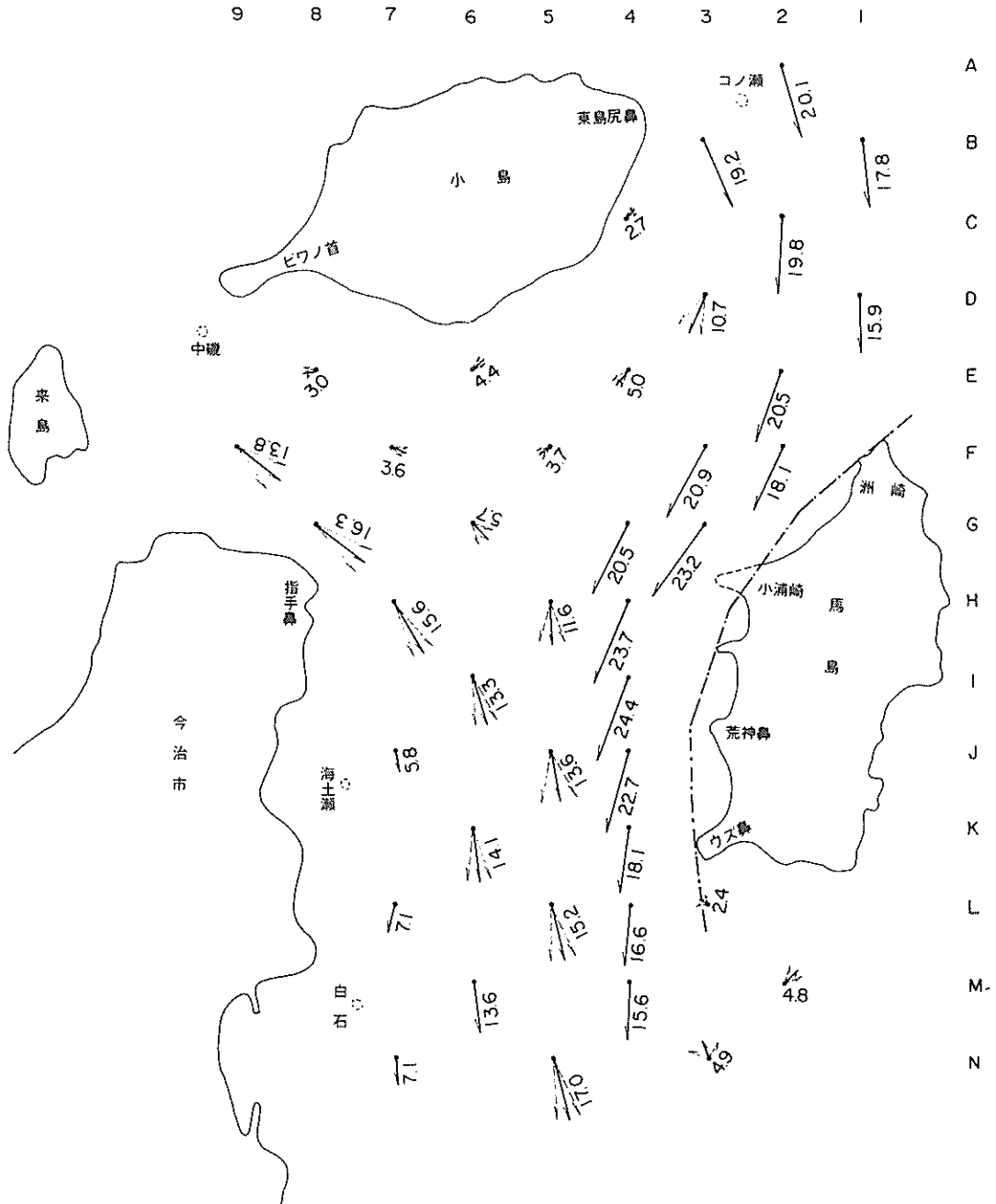


図-24-1 流速・流向ベクトル表示図 (case 4)

の差異はあるがそれほど変化したとは思われない。

(2) 流速・流向ベクトル表示

水表面下 2 cm, 4 cm, 12 cm の各測定水深における流速, 流向のベクトル分布を 図-24-1~3 に示してい

る。

この case 4 では, 地形改良による流れの影響が小浦崎を通過した下流水域の 4 line 上で顕著である。特に小浦崎付近の H-4 および I-4 の両測点で水深 2, 4

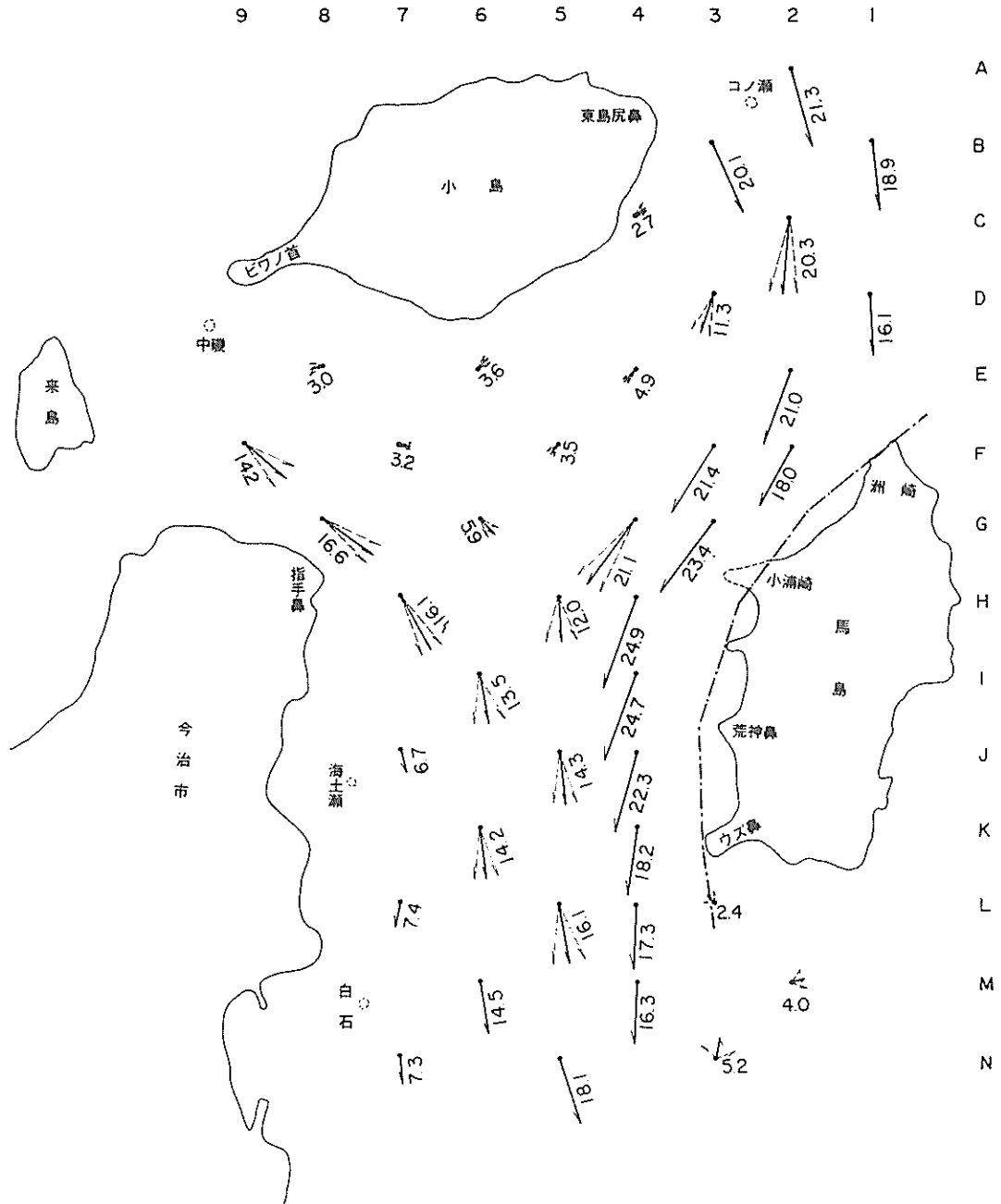


図-24-2 流速・流向ベクトル表示図 (case 4)

cmの平均から、 case 3-1 にくらべこの case 4で前者は約7%および後者は約3%の平均流速が低下している。ところがその下流に位置しているJ-4およびK-4は逆な傾向であり、前者は約12%および後者は約19

%の増加率を示しているが、各々の測点における水深12cmではほぼ case 3-1 と似た平均流速が現われている。したがって、水深によって流速の変化が異なることは、地形改良による剝離が消失した関係でこのような現象を



図-24-3 流速・流向ベクトル表示図 (case 4)



生じさせたものと思われる。

次に馬島背後の反流域におけるN-3でも case 3-1 のベクトル図では  $360^\circ$  を示したが、この case 4 では約  $120^\circ$  の変動幅になって均の減少をみせている。しかし、前に述べたごとく不連続な場所では定常的な測定は困難であるが、この測点においては両 case の流速値（微流速）が多少異なってきたことから、上流部の地形改良の結果は島よりの流れに変化を与えた模様であり、不連続な境界が若干移動したのかも知れない。その他の水域は多少の差異は生じているが case 3-1 と似た性質をなしている。

(3) 流速鉛直分布

この測定は各々の case と同じ位置で行ないその結果を 図-25-1~7 に示している。なお、この case 4 は馬島西岸の地形改良による影響を調べているため、導流堤の工法を用いた case 3（図-19）を対象にして検討を加えることにした。

流入地点におけるA-2の流速および流向分布は、測定水深の各層でその性質が大体 case 3-1 と同じ傾向である。ここで case 3-1 に多少変化していると思われるところは、流速分布の水深4, 6, 8cmがわずかに増速されている。

C-2の流速分布は水深の各層で多少測定値にバラツ

Station C-2

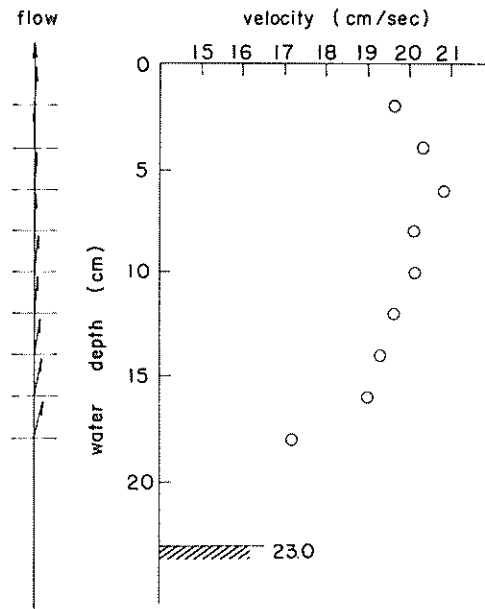


図-25-2 流速鉛直分布 (case 4)

Station A-2

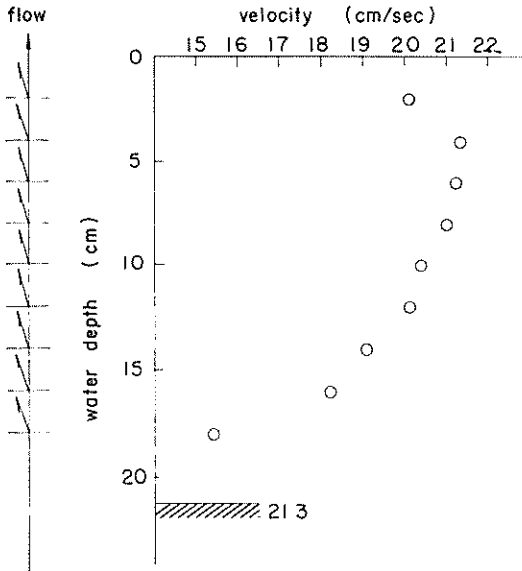


図-25-1 流速鉛直分布 (case 4)

Station F-3

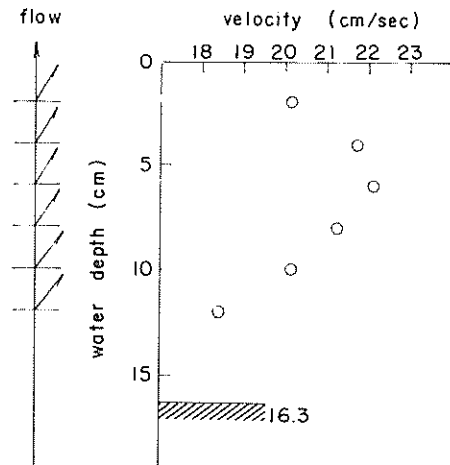


図-25-3 流速鉛直分布 (case 4)

Station H-5

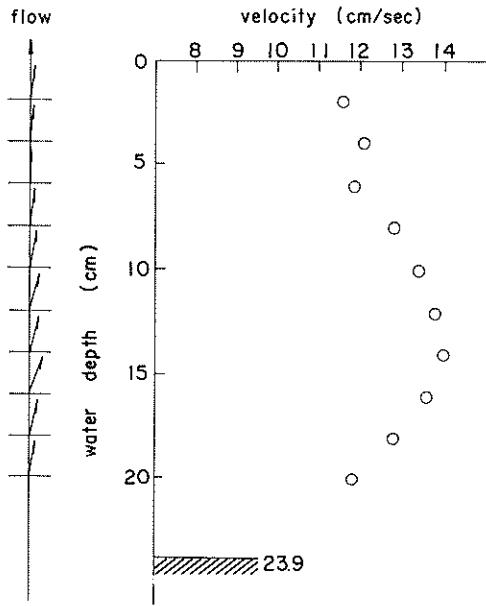


图-25-4 流速铅直分布 (case 4)

Station L-5

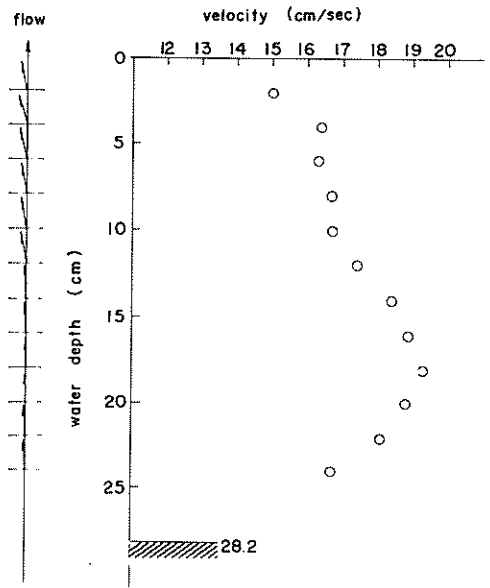


图-25-6 流速铅直分布 (case 4)

Station J-5

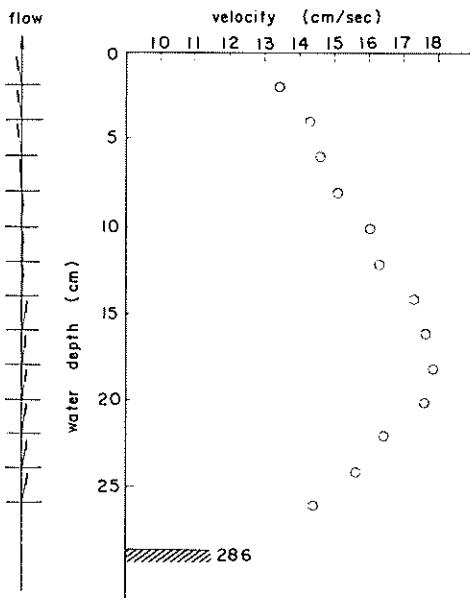


图-25-5 流速铅直分布 (case 4)

Station N-5

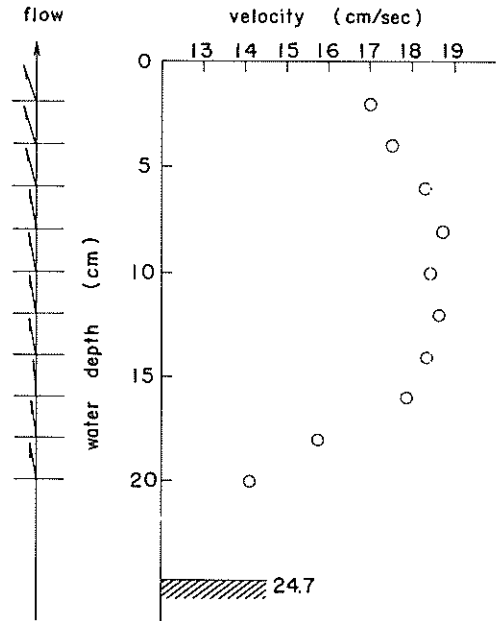


图-25-7 流速铅直分布 (case 4)

キが目立つが、流れの性質はほぼ case 3-1 と同じような様相を示している。しかし、流向分布で表層より中層付近が計測 line に平行に近づく傾向は、case 3-1 でみられなかった現象ですでに上流側のこの地点において、改良地形にともなう流れの影響が現われたものと考えられる。

F-3 は図からわかるように流速が水深各層で case 3-1 ( 図-19-3 ) より総体的に減少し、その傾向も表層が大きくなって分布の形は水深 6 cm を境界として、それより底層に向って直線的な分布となっている。これは州崎周辺の浅部を掘削したことにより、島よりの流れが増速されたことと関係しているものと考えられる。しかし、流向の分布は case 3-1 に対してそれほど変化したとは思えない。

H-5 は前測点と同じく流速が低下するが、特に case 3-1 にくらべ最大流速の位置は変わっていないがその値が 1.4 割程度の減少率を示している。したがって、水深の各層で流速の減少傾向が異なっているため、case 3-1 でみられた大きな流速差がこの case 4 で約 1/2 になり、地形を改良した効果は明確に現われている。また、流向分布においても表層および最大流速が現われている中層付近で case 3-1 よりも右寄りの傾向を表わしている。

J-5 においては、小浦崎の改良による効果ははっきり現われ、case 3-1 ( 図-19-5 ) でみられた測定値のバラツキが消え滑らかな曲線を描き、さらに流速の減少は上述の各測点におけるものと同じである。しかしながら流向分布は、多少の差異はあるがほぼ case 3-1 と似た性質をなしている。

L-5 では中層から底層にかけて流速分布のふくらみが明瞭になっているが、前測点と同じく case 3-1 よりも測定値のバラツキはなくなっている。したがって、流向にもその傾向が現われ case 3-1 にくらべこの付近で右寄りに変化して計測 line に平行に向う様相を示している。

流出地点 N-5 では、上述の各測点でみられた現象とは反対に case 3-1 より水深の各層でわずかに流速が増しているが、分布の傾向はほぼ case 3-1 と似た性質を持っている。また流向分布では、表層付近で case 3-1 よりも左寄りの傾向が強くなり、中層ではほとんど変化はみせていないが、底層付近で若干右寄りの傾向を示している。

#### (4) 馬島西岸の流況

地形を改良した場合の流況変化を水深 2, 4 cm で測定しその結果を図-26-1~2 に示している。

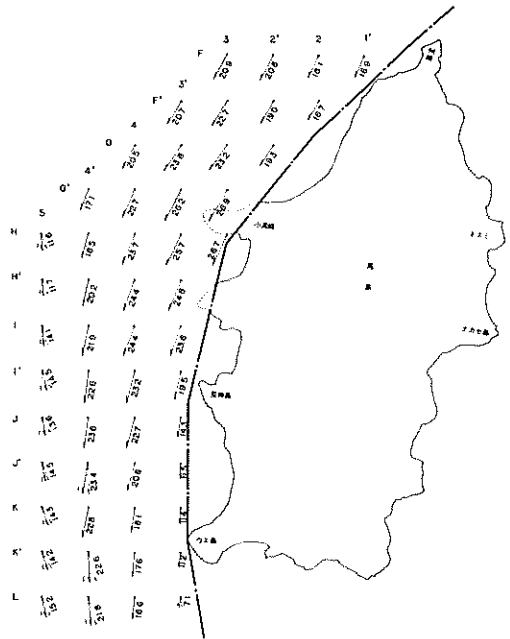


図-26-1 馬島西岸の流況 ( case 4 )

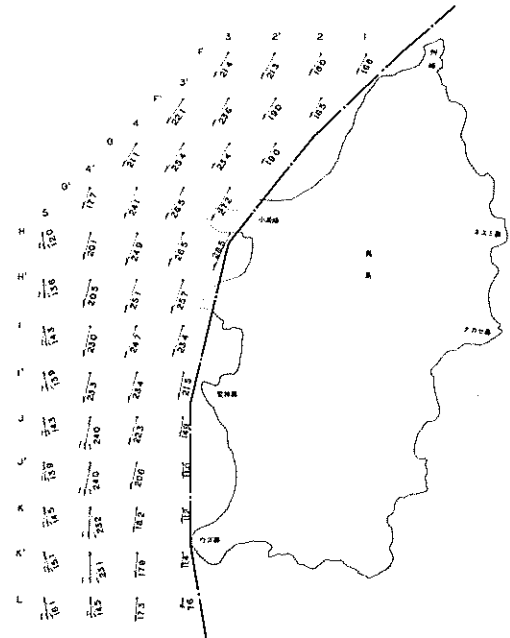


図-26-2 馬島西岸の流況 ( case 4 )

図から観察されるようにこの case 4 の改良地形による流れの変化を、case 3 で行なった各々の導流堤の場合と比較すると、拡幅増深によって島よりの流れが増加することである。これは小湍崎の陸岸突出部の cut あるいは州崎の浅海部の掘削等による粗度の要素が小さくなって流速は増大するが、流向の変動幅は減少してこの周辺における流れは整流され効果は大きい。

次にこの case から新しくつけ加えた測点（計測 line 3' の I', J, J', K, K'）の流れをみると、各測点の平均から流速を算出すると  $13.8\text{ cm/sec}$  ( $218\text{ cm/sec}$ ) を示している。また流向は、変動が減少してほぼ馬島の cut に平行あるいはやや右寄りの傾向にある。

これらの水域の流れの水理的性質および変化等については、後述する第 6 章で馬島西岸を改良した場合の各 case 別について流速・流向を無次元表示して説明する。

### 5-5 追加実験（コノ瀬 cut-25, -30m）

この実験はコノ瀬の浅部から発生する渦流を除去するため、case 2 で行なった掘削水深  $-20\text{ m}$  でも不規則な流れが若干存在している関係から、渦流が完全に消失するまで地形を改良した場合について検討を加えた。

#### (1) コノ瀬 cut-25m

改良地形による流れの性質を調べるため、case 1, 2 と同じく  $u, v$  の測定を用いた。なお、測定の位置はコノ瀬の影響が最も大きいと考えられる水域を選定し図-27-1~9に示している。

まず B 測線では、表層 ( $h=2, 6\text{ cm}$ ) の  $u, v$  成分は case 2 とほぼ似た性質を示しているが、中層 ( $h=8, 10\text{ cm}$ ) になってようやく効果が現われている。たとえば, case

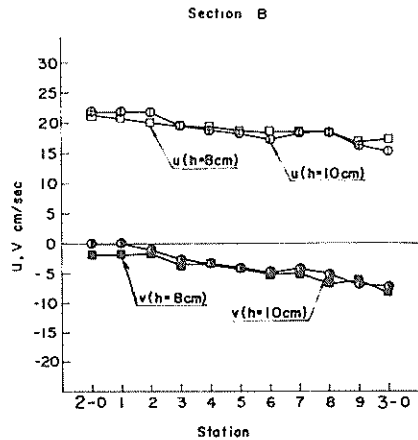


図-27-2  $u, v$  成分 (コノ瀬 cut-25m)

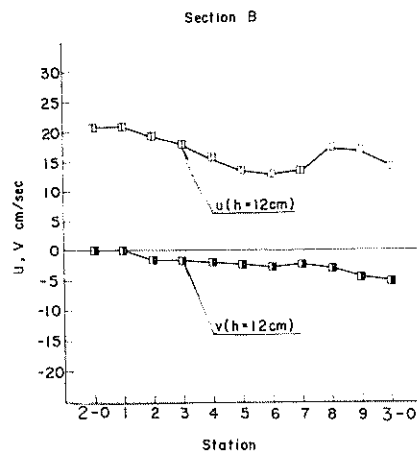


図-27-3  $u, v$  成分 (コノ瀬 cut-25m)

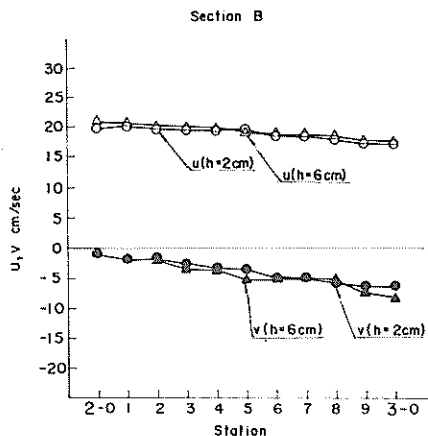


図-27-1  $u, v$  成分 (コノ瀬 cut-25m)

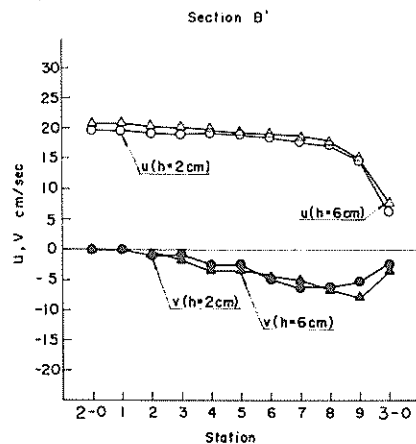


図-27-4  $u, v$  成分 (コノ瀬 cut-25m)

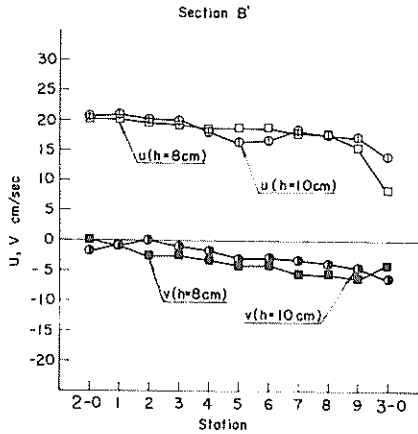


図-27-5 u, v成分 (コノ瀬 cut-25m)

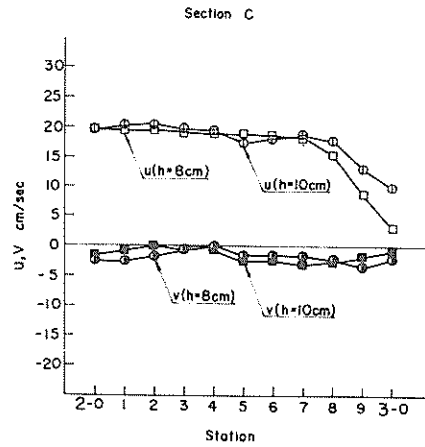


図-27-8 u, v成分 (コノ瀬 cut-25m)

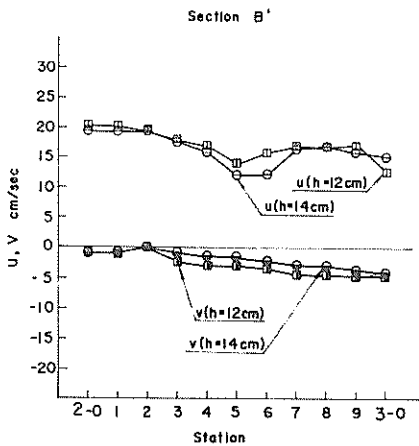


図-27-6 u, v成分 (コノ瀬 cut-25m)

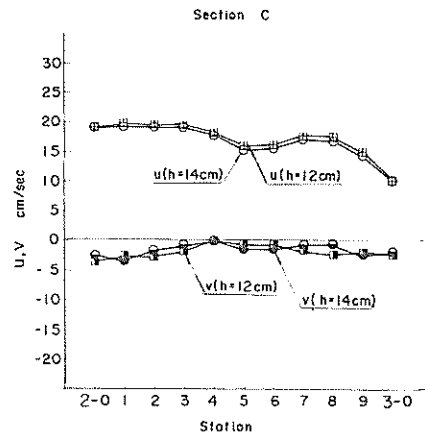


図-27-9 u, v成分 (コノ瀬 cut-25m)

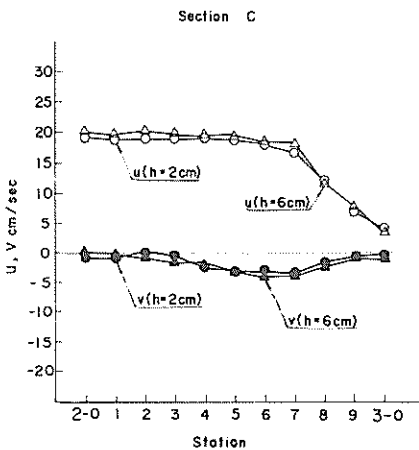


図-27-7 u, v成分 (コノ瀬 cut-25m)

2 (図-15-4)のu成分でB-2-4から2-6地点で流速が減少していたが、この実験では流れに直角な断面内の流速が平均化され一様な分布に変化している。またv成分も沖から島よりにかけて直線的な分布で漸次増速、すなわちY軸(流下方向)から左寄りの流向を示している。この結果は流れが速い沖方では計測lineに平行に流下し、小島に近づくにつれ流れが遅くなって左寄りの傾向が強くなる模様である。

次に底層(h=12cm)ではcase 2でみられたu成分の特有な分布は消えているが、若干その傾向は存在はまだコノ瀬の形状が残っている関係からこのような分布が現われているものと考えられよう。

B'測線におけるu, v成分をcase 2と比較した場合、全体的な傾向として上流側のB測線の現象とほぼ一致

している。ここで水深 2, 6cm を表層, 水深 8, 10cm を中層, 水深 12, 14 cm を底層付近とすると, すなわち表層では似た性質をなし, 中層付近では水平面内の平均化が進み, 底層付近では異状な分布は消えるがやはりその傾向は多少残っている。

C 測線における表層の  $u$  成分は沖方から C-2-7 まで約 20 cm/sec の様な流速の状態が続き, C-2-8 から急激に流速が減少して C-3-0 で 5 cm/sec 程の流速になっている。これは case 2 とよく似た傾向で流速の低下は, 東島尻鼻からの後流の影響によるものと推定される。また中層および底層付近の  $u$  成分は, 上流側の測線と同じ傾向を示している。一方  $v$  成分は, 沖方の水深各層で左寄りに変化しているが, 他の部分は大体 case 2 と似た性質をみせている。

(2) コノ瀬 cut-30 m

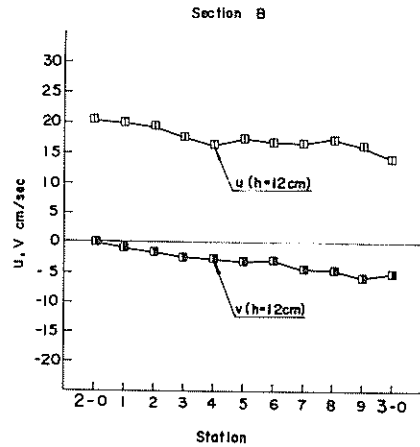


図-28-3  $u, v$  成分 (コノ瀬 cut-30 m)

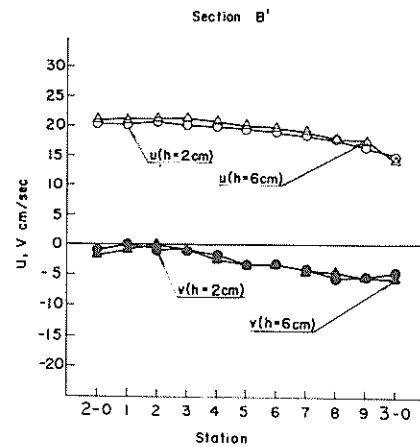
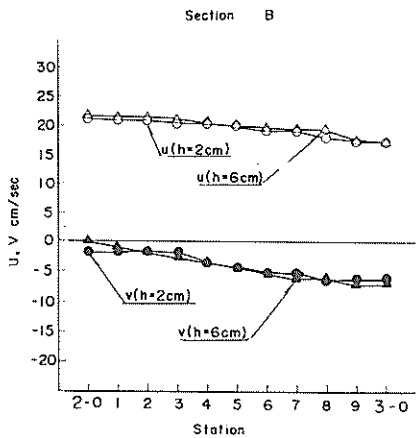


図-28-4  $u, v$  成分 (コノ瀬 cut-30 m)

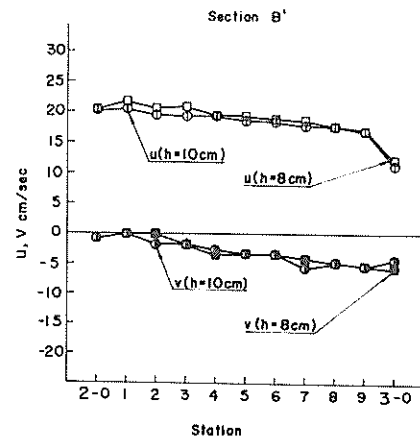
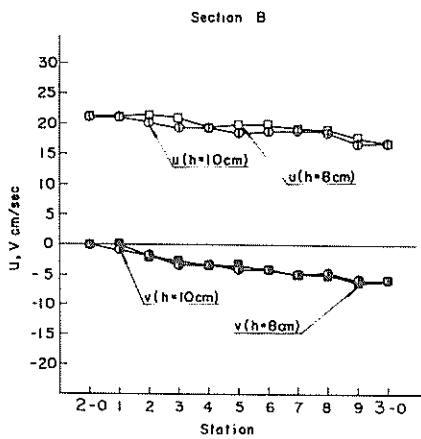


図-28-2  $u, v$  成分 (コノ瀬 cut-30 m)

図-28-5  $u, v$  成分 (コノ瀬 cut-30 m)

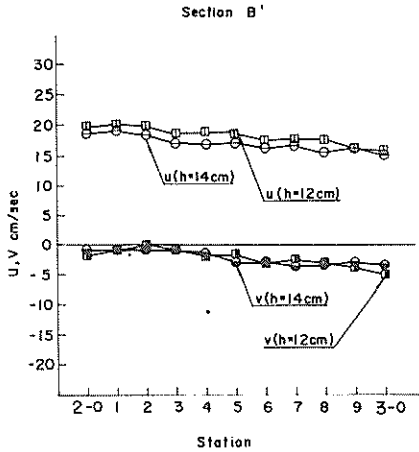


図-28-6 u, v 成分 (コノ瀬 cut-30m)

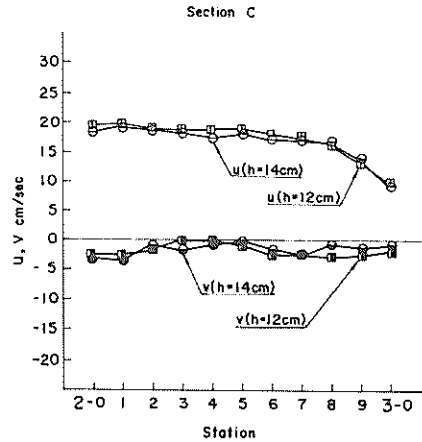


図-28-9 u, v 成分 (コノ瀬 cut-30m)

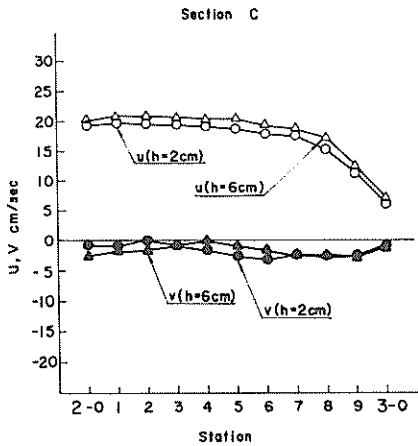


図-28-7 u, v 成分 (コノ瀬 cut-30m)

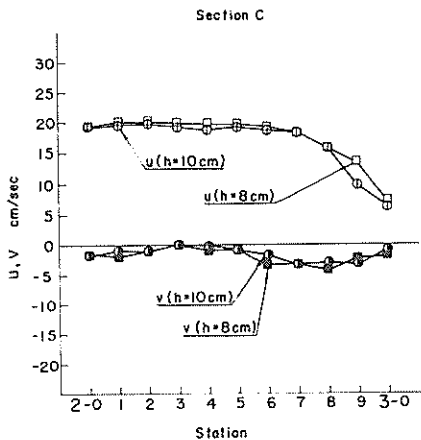


図-28-8 u, v 成分 (コノ瀬 cut-30m)

この実験は前述したコノ瀬の地形改良 (掘削水深-25m) においても、水深が深いところで不規則な流れが存在しているために、さらに-5m掘削した場合の流れの性質について調べその結果を図-28-1~9に示している。

各測線について地形改良による u, v の分布から総合的な傾向としては、改良による流れの効果は大きく現われている。

B測線の表層、中層付近ともに u, v 成分の分布は大体コノ瀬 cut-25m と同じ傾向を示しているが、底層付近になると図から明らかにコノ瀬 cut-25m よりはよく整流されていると言えよう。

B' 測線の表層で B'-3-0 の u 成分が、コノ瀬 cut-25m より約2倍に増速しており、また u 成分もこの測点で左寄りの傾向が強くなっている。これは東島尻鼻の後流が小島よりに移動したものと考えられよう。中層付近の u, v とも多少の差異はあるが、ほぼコノ瀬 cut-25m と似た傾向を示している。また、底層の u 成分はコノ瀬 cut-25m の B'-2-4 から 2-6 でみられた流速の低下はなくなり、この部分が増速された結果一様な分布になっている。しかしながら v 成分はそれほど変化した様子はみられない。

C 測線における表層の u 成分はほぼ前測線の現象と同じであり、コノ瀬 cut-25m では C-2-7 から急激に変化をみせたが、この実験では図から明らかのように漸次流速は減少されている。v 成分は反対にわずかに増速されて左寄りの傾向となっている。また、中層および

底層付近では上流側の測線と同じ傾向で、コノ瀬 cut-25m よりは  $u, v$  とも整流されている。

## 6. 実験結果の考察

記述の実験から渦流緩和対策として平面、海底の地形改良および導流堤形式の構造物を設置した場合の、西水道の南流時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改良（導流堤の設置を含む）の効果を、その形状によって生ずる流況の性質変化について実験 case 別に検討すれば次の通りである。

### (1) 流速変化について

馬島西岸の地形改良で流速変化の著しい箇所について、特に小浦崎より下流水域の断面を選び図-29-1~7に示した。なお、解析方法としては前報告書と同じく図の横軸には測点を縦軸は case 2 の流速に対する比を示し実験 case 別に測定水深 2cm, 4cm について無次元表示した。したがって  $u_j/u_0 > 1.0$  は case 2 より増速を  $u_j/u_0 < 1.0$  は減速したことを示している。

ここで注意すべきことは、実際には改前前と改良後の比較検討であるから現況 case 1 と対比するのが妥当と

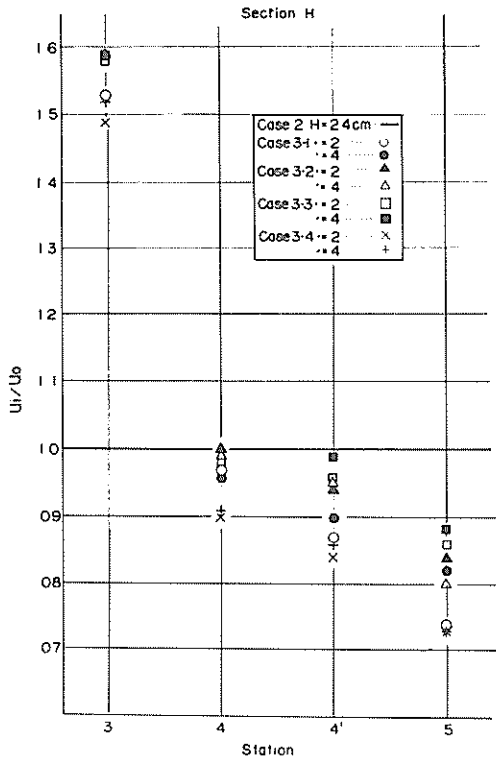


図-29-1 case 別の流速比

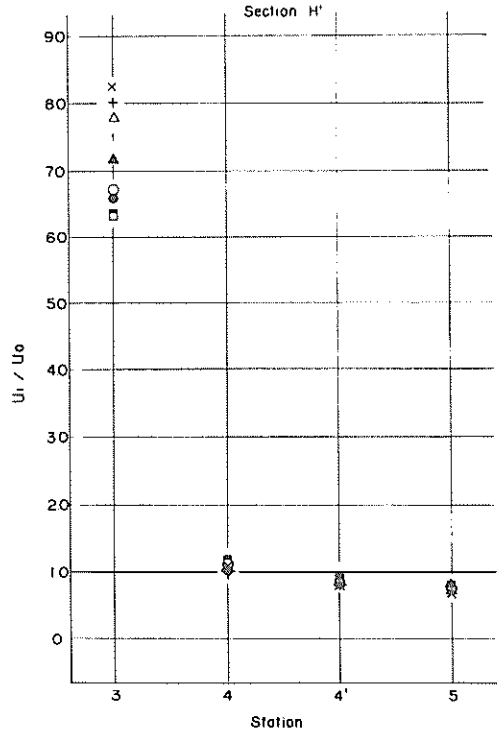


図-29-2 case 別の流速比

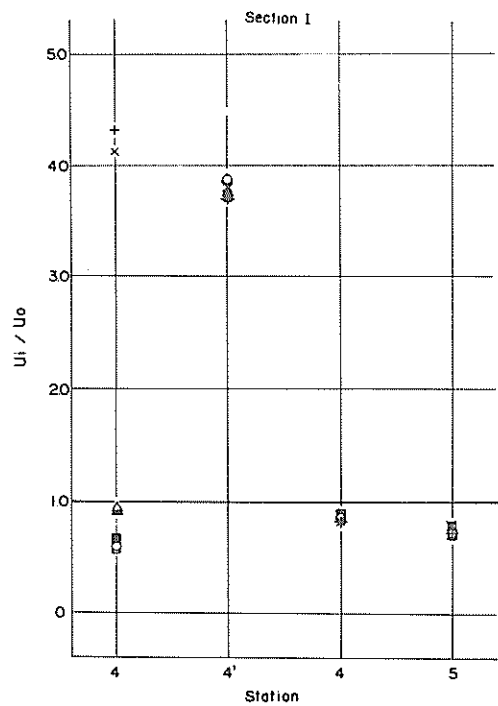


図-29-3 case 別の流速比



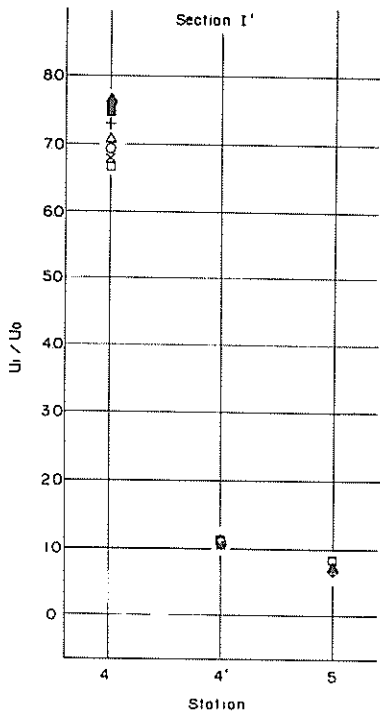


図-29-4 case 別の流速比

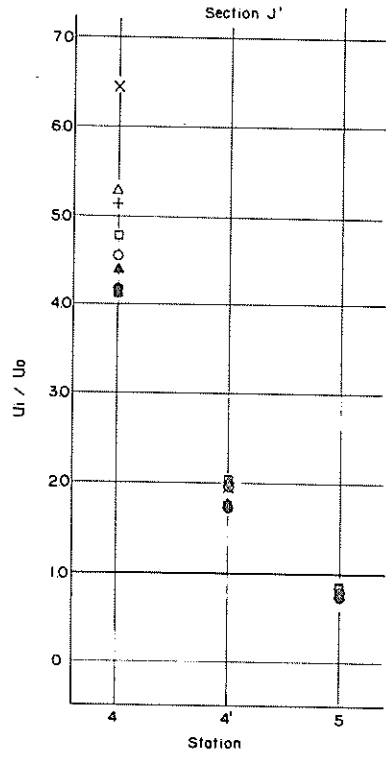


図-29-6 case 別の流速比

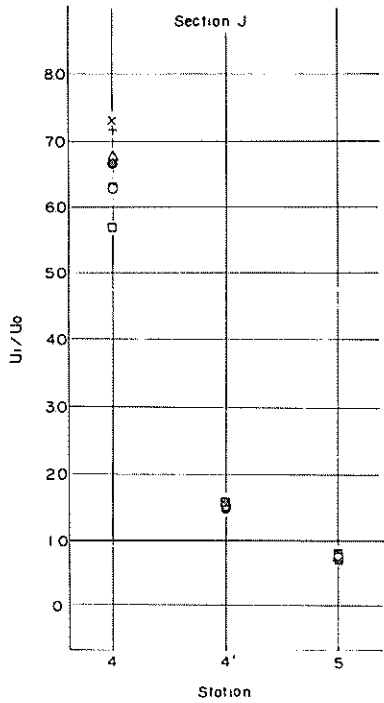


図-29-5 case 別の流速比

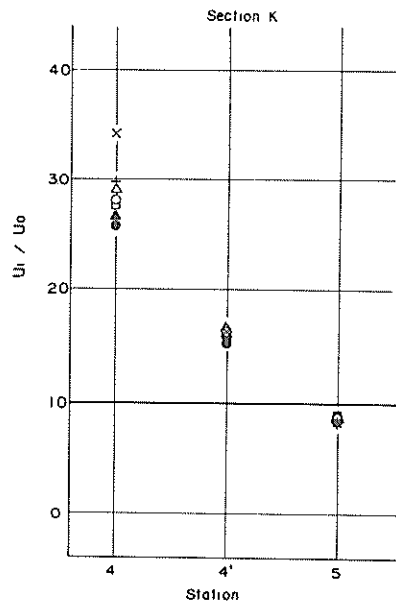


図-29-7 case 別の流速比

思われる。しかし、実験の手順がコノ瀬の cut を先に行った関係から原型に復旧させることは困難である。たとえば流れ実験では、わずかな形状の違いで流れに影響を与えることが過去の実験より明らかにされている。したがって、上述の理由から case 2 を基準にして検討を加えた。

H 測線は小浦崎の前面付近にあたるために改良による流れの変化は著しく、導流堤の設置あるいは拡幅増深されて馬島よりの H-3' で case 2 に対して case 3, 4 で流速比 1.5 ~ 1.6 倍に増速されている。この現象は改良地形にともなう海底および馬島側壁の粗度の要素が小さくなって流れが増加するものと考えられる。しかし、同じ測線上の沖方に向う H-4, H-4', H-5 では反対に漸次減速の傾向が現われ、特に case 4 が他の case にくらべ大きな値を示していることは、この付近の流れは小浦崎の陸岸突出部の存在がいかに大きな影響を持っているかがわかる。

H' 測線においても上流側の H 測線と似た性質を示しているが、馬島よりの H'-3' で case 2 と比較して case 3, 4 で約 6 ~ 8 倍に流速が増大している。これは case 2 の測定では反流域に入っているため流速が小さかったためであり、case 3, 4 の流速が特に大きいわけではない。また他の測点では多少の増減はみられるが、ほぼ case 2 と同じ傾向であることは、流れが整流されたことを意味し改良の効果が明確である。

I 測線は、馬島よりの I-3' で case 3 のすべてが case 2 よりも流速比 0 ~ 0.5 ほど減速し、逆に case 4 では約 4 倍の増加現象がみられる。この要因については、case 3 の各々の導流堤（小浦崎を囲む）法線上に I-3' が位置しているため、その流速は問題にならぬほど微弱である。（たとえば図-20, 21, 22 参照）一方の case 4 は小浦崎 cut 等により、流心が馬島よりに移動して流速が増加したものである。（図-26 参照）さらに H-4 の増速は平面地形による影響が大きく、特に小浦崎に圧流された流れが沖方に押されるようなパターンを示し、その結果は小浦崎を通過した主流は流下にもない馬島から遠ざかる傾向にある。したがって、この付近の流れは改良地形（case 3, 4）によって流心が沖から馬島よりに移動したものである。また、沖方の I-4', I-5 の減速は上流側の測線でみられたものと同じ性質をなしている。

I', J 測線の各 case は両者とも似た傾向をみせており、測点 4' において case 2 にくらべ case 3, 4 で約 5.5 ~ 7.5 倍に増速されている。これは case 2 の場合この測点の小浦崎からの後流領域に入っているため流速

が弱く、地形改良の結果は水平面内の流速が平均化されて整流したものである。他の測点では、多少の差異はあるが前測線と同じ傾向を示している。

J' 測線ではやはり J'-4 が改良地形によって増速されているが、その傾向は各 case で水深 2 cm が水深 4 cm より増加率が大きくなっている。また J'-4' においても約 2 倍の増速を示し、前測線の J-4' で多少増加の傾向が現われ始めていたが、それより上流側の 4' line ではむしろ case 2 よりも減速されていた。これらはすべて改良地形による小浦崎の下流水域での流心移動に関係しているものと考えられよう。

K 測線においても K-4 が増速しているが、前測線の増加率よりも約 1/2 に低下し、その結果他の測点の分布と直線的な関係を表わしている。

#### (2) 流向変化について

これは小浦崎から発生する渦流を減少させる方法として馬島西岸の地形を改良した場合、その周辺における水平面内の流向変動量を改良前に対比して改良後の変化について流速変化と同じ断面の測点を用い、各 case 別の流向変動比を図-30-1 ~ 7 に示している。なお、測定は前報告と同じ方法を用いている。

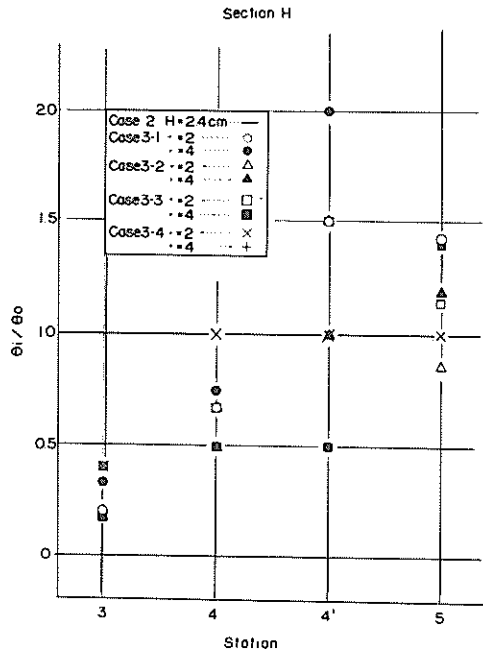


図-30-1 case 別の流向変動比

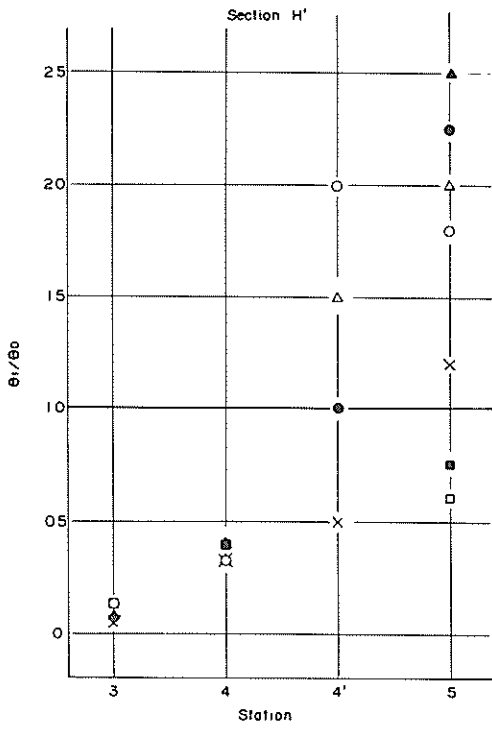


図-30-2 case 別の流向変動比

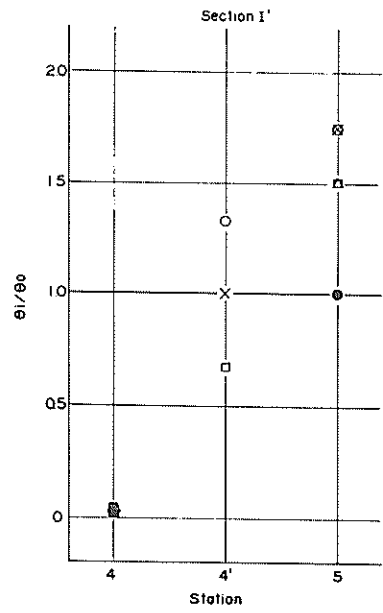


図-30-4 case 別の流向変動比

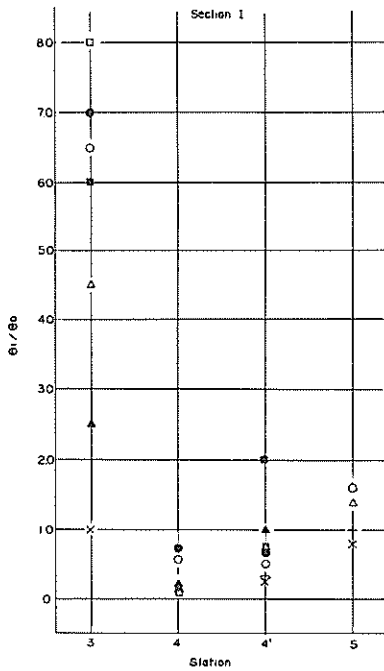


図-30-3 case 別の流向変動比

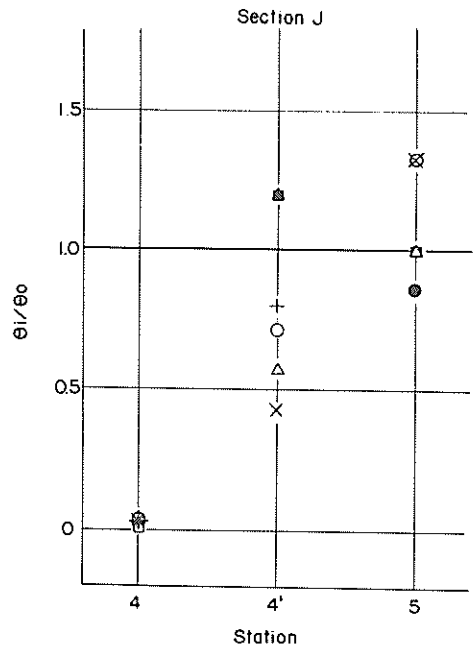


図-30-5 case 別の流向変動比

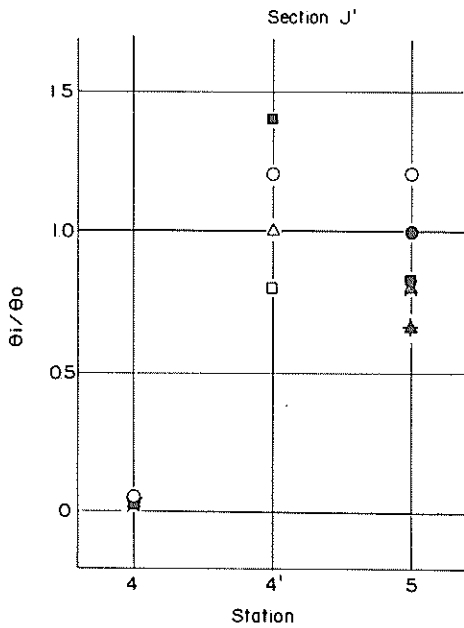


図-30-6 case 別の流向変動比

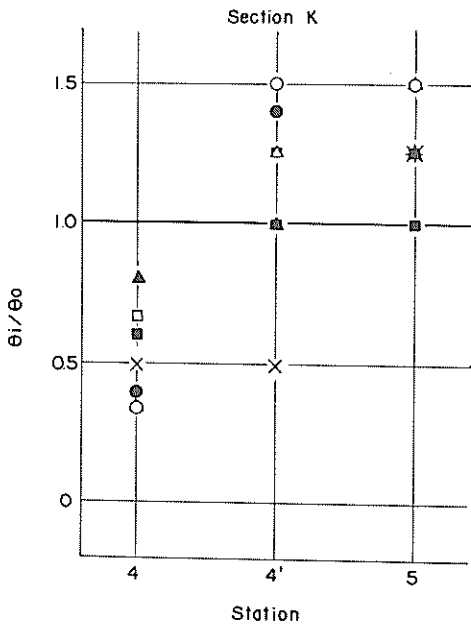


図-30-7 case 別の流向変動比

H測線は地形改良による効果が現われ、馬島よりのH-3', H-4で各caseともcase 2よりも変動が減少している。しかし、沖方のH-4', H-5では変動比の値が散乱しているのは、おそらく2つの水道からの合流地点に接近していることから、このような現象は当然の結果と言えよう。

H'測線では、前測線でみられた傾向がさらに明確になり、特に馬島よりのH'-3はcase 2の測定では反流域に入っているため、その流速は問題にならぬほど微弱であるが、流れの変化によって流向の変動が大きく約 $110^\circ$ を示した。しかし地形を改良したcase 3, 4では、流速変化で述べたように粗度の減少にともなって流れが速くなり、その結果整流されて変動幅が $10^\circ \sim 15^\circ$ を示しcase 2に対して90%の大幅な減少率をみせている。一方、沖方のH-4', H-5はまったく逆の傾向が出現し、前測線における変動比より顕著である。

I測線では、馬島よりのI-3'でcase 2に対してcase 4を除いたcase 3において、変動量が大幅に増大していることは、上流側の3' lineでみられなかった現象である。これは流速比のところでも述べたように、小浦崎を囲む導流堤による影響が最も大きな原因であり、この測点については流向の変動が大きいほど流速は小さく、反対に変動が小さいほど流速は大きくなっている。また他の測点では流向変動に増減がみられるが、総合的な傾向として改良地形による効果は大きい。

I', J, J'の各測線においては、馬島よりの測点でcase 2に対してcase 3, 4の変動比 $0.03 \sim 0.04$ と大きな減少率を示している。これは小浦崎からの後流域がこの測点に接しているため、case 2の測定(図-16参照)で $360^\circ$ の変動幅が現われていたが、改良地形によって流れに直角な断面内の平均化が進み整流されたことを意味している。さらに他の測点における現象は、各caseによって増減の仕方は異なっているが、case 2に対しての変動角は大体 $5^\circ \sim 15^\circ$ と小さくcase 3, 4の変動量が特に大きいわけではない。

K測線は馬島よりのK-4で20~70%の減少率を示し、また沖方のK-4', 5ではK-4'におけるcase 4の水深2cmを除くと、逆に各case 2と同じかあるいはやや増加の傾向がある。

### (3) 乱れについて

コノ瀬の地形を改良した場合の渦流の減少を調べるため、前述した第5章における追加実験の断面を用い、cutの形状による流れに直角な断面の流向変動量を各水深ごとと比較したものを図-31-1~17に示した。

なお、この測定方法は水平全方向型流速計の可変部に

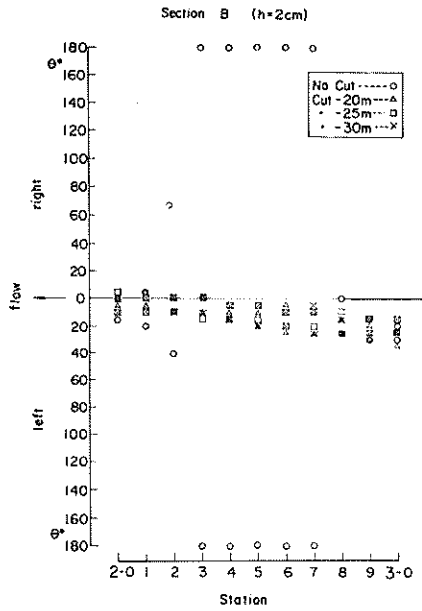


図-3 1 - 1 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

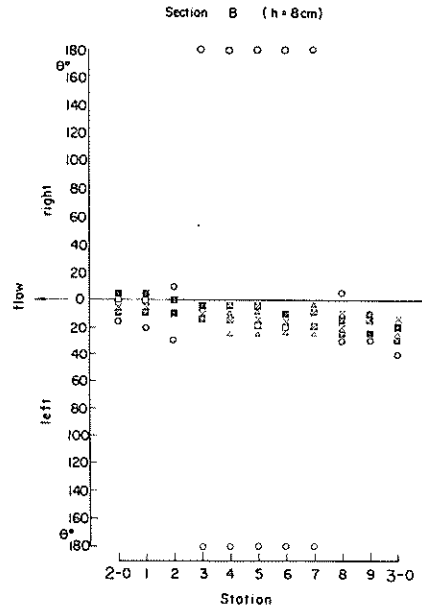


図-3 1 - 3 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

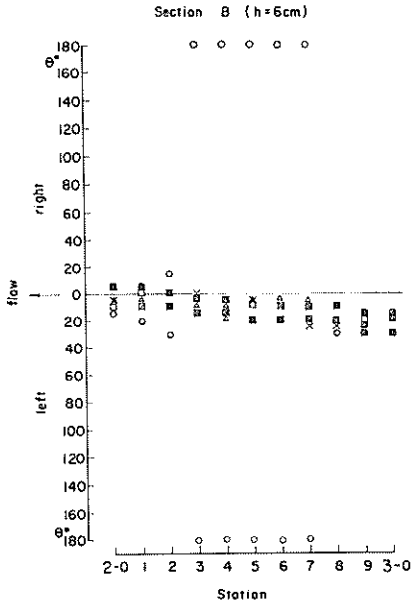


図-3 1 - 2 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

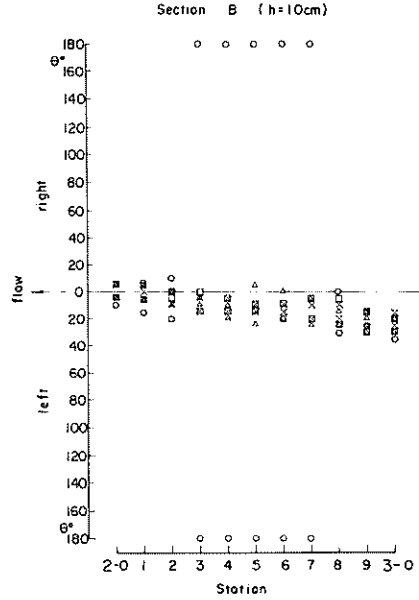


図-3 1 - 4 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

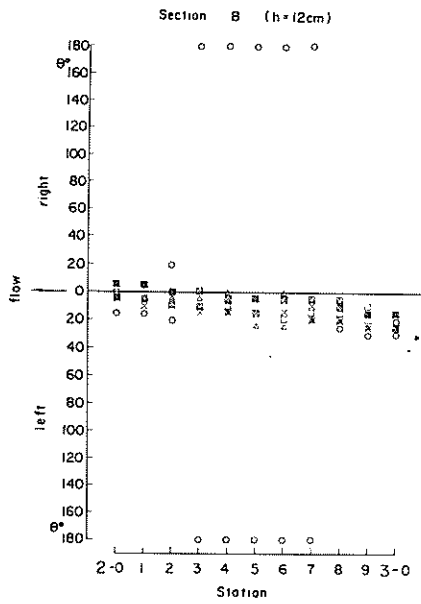


図-3-1-5 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

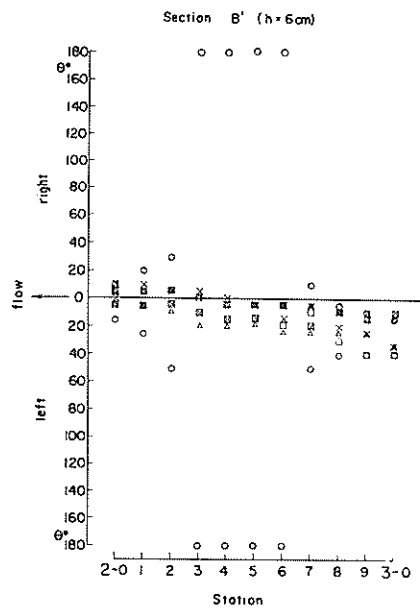


図-3-1-7 コノ瀬cutによる水平面内の変動

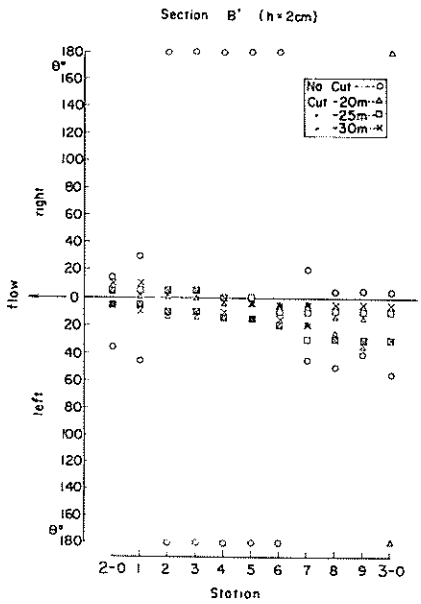


図-3-1-6 コノ瀬cutによる水平面内の変動

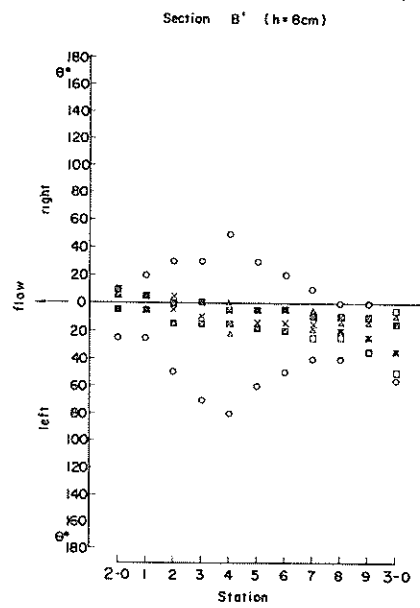


図-3-1-8 コノ瀬cutによる水平面内の変動

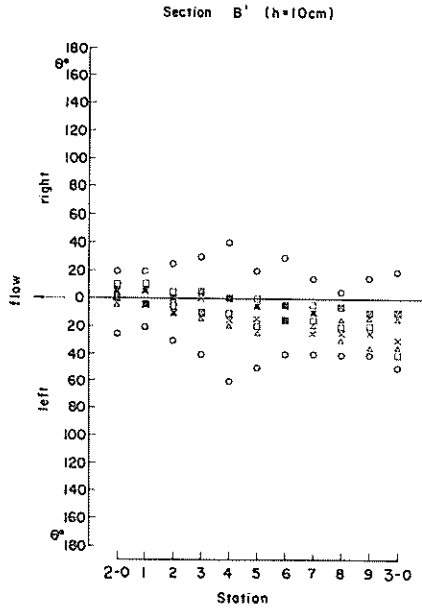


図-31-9 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

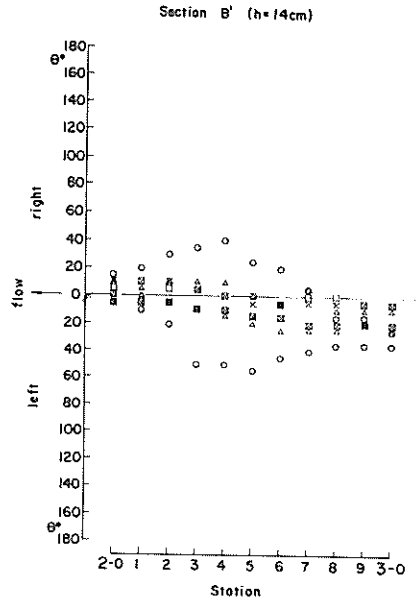


図-31-11 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

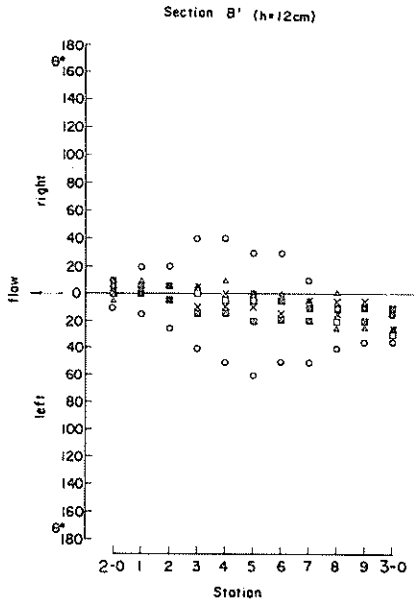


図-31-10 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

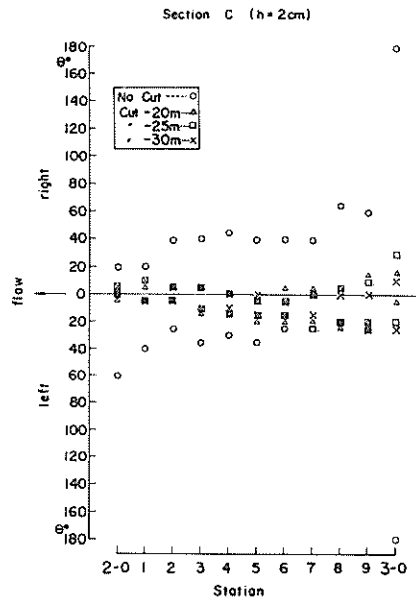


図-31-12 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

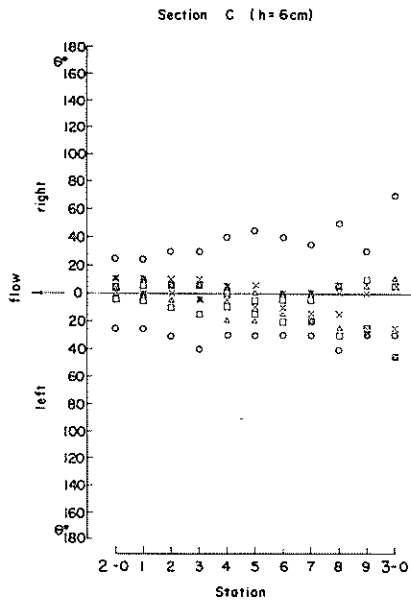


図-31-13 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

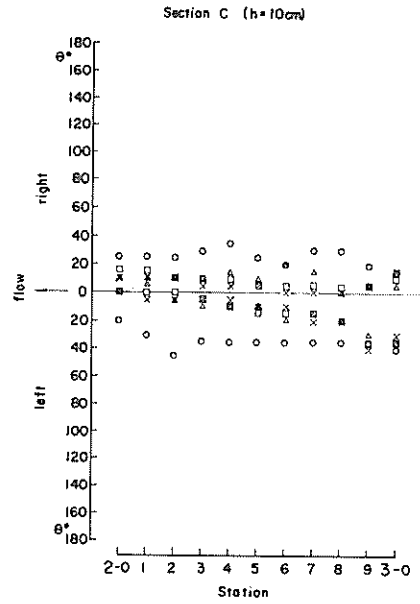


図-31-15 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

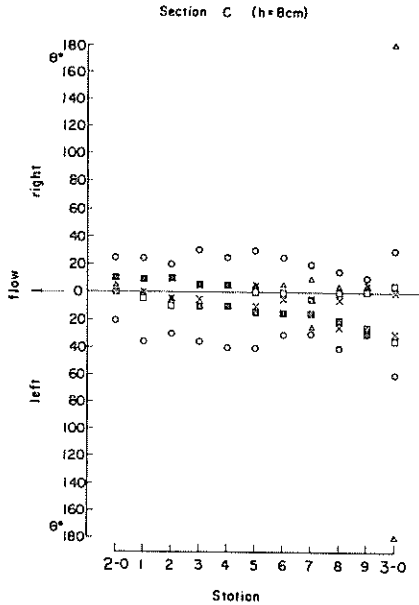


図-31-14 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

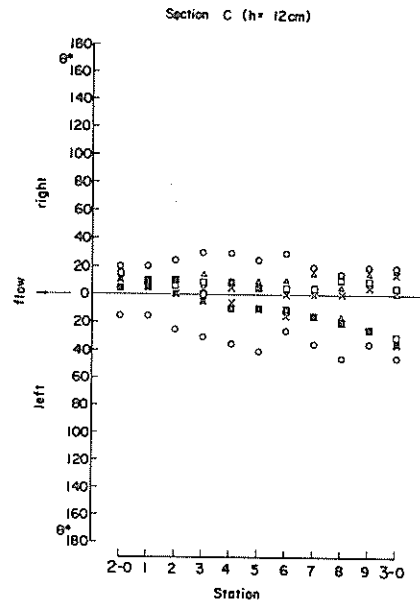


図-31-16 コノ瀬cutによる水平面内の変動量



Section C (h=14cm)

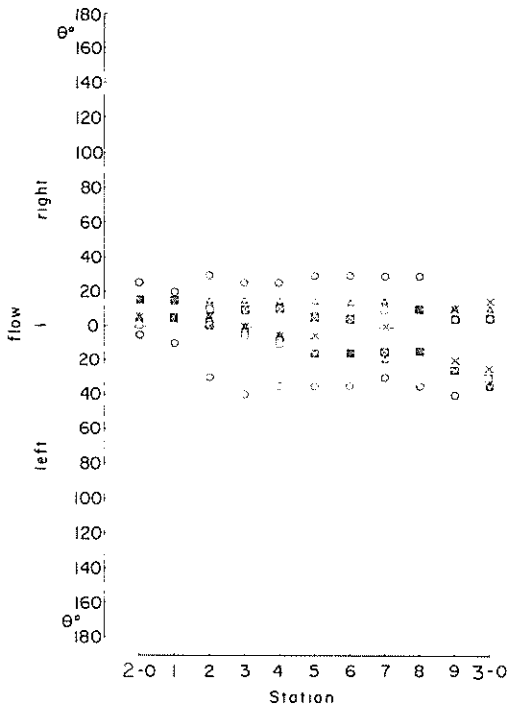


図-31-17 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

取り付けられている尾翼の振れを分度器（計速計の上部に設置）を用いて測定し、また攪乱領域の不規則な流れは過マンガン酸カリ水溶液で流向のチェックを行なっている。

B測線については、測定水深の各層で2-3から2-7の区間が現況で乱れが激しく360°を示しているが、地形を-20m、-25m、-30mに改良すると図から明らかに変動は大きく変化して約20°に減少されている。さらに現況における測点2-2では、測定水深2cmで約110°をそれより底層に向う各水深で約40°の変動が現われていたが、これらもまた改良地形によって減少され効果的である。

B'測線では、測定水深2cmの測点2-2から2-6の区間が現況でやはり乱れが大きくなっているが、各々の改良地形によって前測線と同じく変動量が大幅に減少している。ところが測点3-0でcut-20mが現況あるいはcut-25、-30mより大きな変動が生じている。これは東島尻鼻からの剝離による後流と一般流が接する不連続面の変化による影響であり、このような領域では定

常的な流向をとらえることは困難である。

次に測定水深6cmでも現況の測点2-3から2-6が乱れが大きく、その両側の測点2-2および2-7も60°~80°程度の変動をみせていたが改良による効果は大きい。さらに測定水深が8, 10, 12, 14cmではそれぞれ似た傾向を示し、表層(h=2, 6cm)付近でみられた激しい乱れは消えるがやはり存在し、測点2-4を中心にして左右に漸次減少の分布を示している。しかし、改良地形による変動の減少傾向は多少の差異はあるが表層付近とはほぼ一致している。

C測線は上流側の測線とは異なった現象が生じ、全般的な傾向として沖方(2-0)から小島(3-0)よりにかけて各caseで変動量が大きくなっている。

測定水深2, 6, 8cmにおいては、測点3-0で水深2cmの現況および水深8cmのcut-20mで変動が大きく現われ、これは前測線と同じく東島尻鼻からの後流による影響と考えられる。たとえば、地形を改良した場合においてその近傍の2-7付近から分布形が示すように、流向変動量の減少傾向が小さくなっていることから明瞭である。

次に測定水深が10, 12, 14cmでは、現況時の乱れも小さくなっているがそれでも40°~70°の変動を示し、改良地形による減少の傾向も表層から中層にかけての水深(h=2, 6, 8cm)と似た性質をなしている。

#### (4) 水位

この測定を行なった最も大きな理由としては、地形を改良した場合に西水道における水位および水面勾配が現況に対してどのような変化を示すかを確かめるため、現地観測と同じ位置を模型面(図-5参照)に設けて各caseについて測定しその結果を表-6に示した。

表-6 各caseにおける水位と水面勾配(南流時)

実験case	水位 (mm)				水面勾配 I
	A	B	C	D	
Case 1	1.2	3.7	1.7	0.6	0.00018
Case 2	2.6	2.1	0.4	-0.5	0.00050
Case 3-1	1.0	0.2	-0.7	-2.2	0.00048
Case 4	2.1	1.7	0.9	-1.0	0.00046

注意：現地の水面勾配 I = 0.00017

表-6に示す各caseの水面勾配より西水道南流時の水位変化についてまとめてみると、case 1では約1/1500の勾配がcase 2, 3, 4で約1/2000に減少されて緩勾配になる。これは地形を改良したことにより

海底および馬島側壁の粗度の要素が小さくなり必然的な結果である。

(5) 要 約

以上の実験結果から西水道の改良地形による流れの物理的性質について考えられることは、まずコノ瀬の浅海部を除去した場合その周辺における流れの変化が著しく、特に流れに直角な断面内の流速分布の平均化が進み効果的である。しかしながら小浦崎より下流域において、鉛直方向の速度分布に変化が生じ最大流速を示すところが、表層より中層付近に移動することである。これは場所的にこの付近が2つの水道からの合流地点の下流に位置している関係から、上流域での流れの変化によってこのような現象が生じるものと思われる。

次に馬島西岸における改良地形は、小浦崎からの乱流域が消失し航路付近に対しては効果的である。しかし問題となるのはすべての地形改良の結果から、馬島よりの流れが増加されることは注意すべきであるが、これは地形改良した結果現況よりも case 3, 4 における水面勾配の低下、粗度の減少、 $I$ ともなつて流速が増大するのはやむを得ない。

しかし、模型の規模に関係する流れの場における代表的 Reynolds 数が今回の実験においても現地と模型では  $Re = UR/\nu$  を用いて計算すると、その値が大きく異なるために現地で果して模型と同様な現象が確実に現われるとは言いきれない。

7. 北流時の実験条件

7-1 北流実験に用いた現地の水理量

(1) 潮位, 流速, 流線

来島海峡の潮流は、南方の嵯灘より北方の安芸灘に向う流れを北流と称している。

北流の潮位は、昭和47年5月11日~14日の大潮時(北流最強時)に観測された値を用いている。同観測は図-2に示すごとく今治側(a)馬島(b, c)小島(d)の計4点を設けて測定した。図からわかるように馬島(b)を除く他の測定は、すべて南流時の観測位置と同じである。このb点を変更した理由としては、流れの方向を考えた場合に岬(ウズ鼻)の上流側と下流側で大きな水位差が生じ、さらに南流時の位置では岬の背後で反流域となるからである。

測定は高潮から低潮にかけての潮汐を最強時(流速)付近の前後を選び、その方法は南流時と同じく量水標を用いて行ないその時の結果は表-7に示した。

次に潮位を図示すると図-32のようになり、南流時

表-7 潮位表(北流時)

測 点	距 離	潮 位
a	0 m	-0.55 m
b	970	-0.36
c	1830	-1.17
d	2670	-1.29

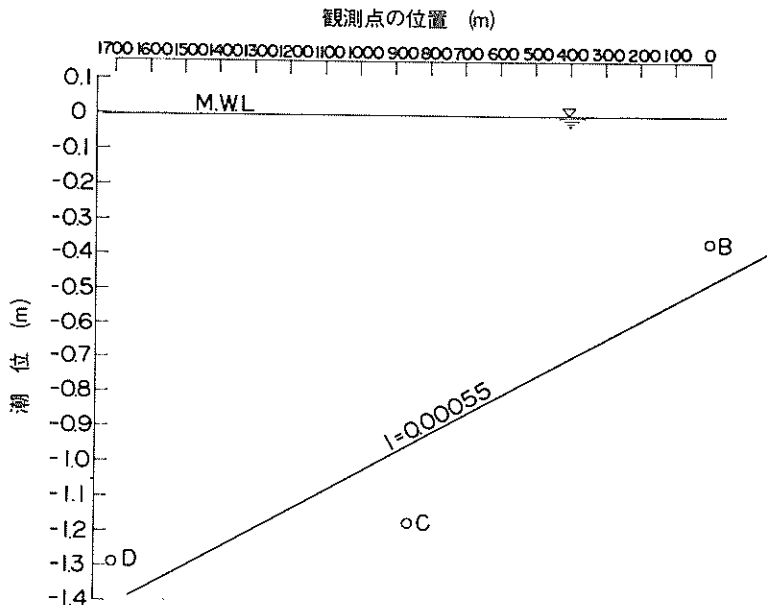


図-32 現地の水面勾配 I

と同じく対象水域から外れている a 点の水位は参考までとした。したがって、b, c, d の 3 点から水面勾配 I を求めると  $I = 0.00055$  になる。

ここで注意すべきことは、この北流時における水面勾配が約  $1/2000$ 、これに対して南流時は約  $1/6000$  と異なることである。これは平面地形による影響が最も大きく作用しているものと考えられ、たとえば b 点付近について述べてみると、北流時には流れが甚だしく馬島に圧流され潮位が上昇し、その結果は下流水域の c, d 点との潮位差が大きくなる。上述の問題はあらかじめわかっていたことであるが、現地において量水標の取り付け作業が（ウズ鼻の先端付近が望ましいが）急潮流あるいは測定者の場所等から困難で、こうした結果はやむを得ない。

流速は潮流図<sup>4)</sup>およびフロート観測（昭和 47 年 5 月 11 日～14 日）の測定結果をもとにして行なった。（図-34 参照）西水道北流の大潮時における最強流速を示すところは、水道中央（馬島小浦崎と今治指手鼻の間）および流出側（コノ瀬と小島の間）で、それぞれ約  $3.6 \text{ m/sec}$ 、 $3.8 \text{ m/sec}$  の値を示している。さらに西水道の平均流速はフロート観測値から約  $2.4 \text{ m/sec}$  となり、ほぼ南流時と同じである。

来島海峡における北流時の流量は、図-2 に示す①、②、③、④の各断面について平均流速の観測値より算出したもので表-8 のようになる。

表-8 来島海峡流量表（北流時）

断面	断面積	平均流速	流量
①	9.500 $\text{m}^2$	1.9 $\text{m/sec}$	18.050 $\text{m}^3/\text{sec}$
②	29.300	2.5	73.250
③	40.400	2.5	101.000
④	28.500	1.3	37.050
計	107.700		229.350

注：平均流速は北流最強時の値

この表によると北流の全流量は南流  $236.100 \text{ m}^3/\text{sec}$  に比較してやや少なく  $229.350 \text{ m}^3/\text{sec}$  となっている。

流線を見ると、南流では流入付近に存在する小島によって流れて大きな影響を与えていたが、この北流では比較的スムーズに水道内に流入しているようである。このことから流れはいかに平面あるいは海底地形によって左右されるかがわかる。まず流入域において流れを構成している粒子が時間的にどのような運動を行なうか、すなわち下流に向かってどのような流線を描くかといえ、水

道中央周辺の流れは大体地形に沿って流下し、ほぼ小島のイカリノ鼻付近に集中した後、西水道の本流および来島瀬戸流に分離するようである。また水道中央から馬島よりの流れはほぼ島に平行に進み、小浦崎の前面あたりでは島よりやや離れて水道中央に向かって流下する流れと、北方のコノ瀬方向に直進する流れとがある。一方の今治よりの流れはほとんど来島瀬戸に流れ込む様相を示している。

北流時の流況について把握するならば、非常に大きい海域から西水道に流入する潮流は、馬島サザエ崎の南方約  $300 \text{ m}$  付近からすでに流向は西水道に進む傾向が強く現われている。この地点は平均的にみると中水道内に位置しているにもかかわらずこのような現象が生じる。この原因は、1) 来島海峡に入る以前の地形（大水深部が南東方向）による潮流効果、2) 中水道にくらべ西水道の水路幅が大きいために流入しやすい。以上が最も大きな要素と推定される。したがって、ウズ鼻付近の流れは圧流されて非常に大きな水位差が生じ、その結果ウズ鼻をまわる流れに三次元的な剪断応力が働き、この付近に強烈な攪乱領域が発生している。さらに今治側は点在する岩礁による広範囲な渦流があり、また小島の本ノ谷鼻付近にも剝離およびコノ瀬の渦流等がある。なお、コノ瀬から発生する渦流の乱れの強さは南北流ともほぼ同じように見受けられるが航路筋に与える影響は南流時の方が大きい。

## (2) 粗度係数

北流時における粗度係数は、南流時と同様に小浦崎から沖方  $600 \text{ m}$  の断面を用いて行なうと、径深  $R = 37.2 \text{ m}$ 、水面勾配  $I = 0.00055$ （観測点 b, c, d）であり、Manning の粗度係数  $n$  を Manning の平均流速公式  $V = (1/n) R^{2/3} I^{1/2}$  から算出すれば、平均流速  $V = 2.4 \text{ m/sec}$  であるから  $n = 0.109$  となる。

## 7-2 北流模型における水理量

### (1) 相似性

この実験では、南流時の実験と同じく第 1 報<sup>1)</sup>の相似性の項（PP. 9~11）で述べてあるような方法を用いている。この実験においても粘性項と加速項との関係を示す Reynolds number ( $UR/\nu$ ) を南流時と同じく、西水道の中央部付近で長さの基準として径深をとるとき現地の  $R = 8.8 \times 10^7$  の値をとる。一方模型では  $1/400$  の縮率にしたところで  $R = 3.3 \times 10^4$  の値を示す程度にとどまる。したがってここで注意しなければならないことは、粘性として分子粘性をとるとき模型縮尺の規模から仕方なく、小規模の模型現象については Reynolds

number が非常に小さいために、現地の情勢との間に相当の差が生ずるものと思われる。

実際問題として流れの実験では、重力よりも粘性力が卓越することは考えられないので、一応 Frouds 相似などの関係式である不等流の運動方程式を用いると、模型水理量の縮率を求めることができる。

(2) 水位, 流速, 流量

模型の縮率は表-9 に示すとおり水平方向 1/400, 鉛直方向 1/250 である。したがって模型上の b, c, d をむすぶ水面勾配  $I_m$  は本模型のために、(今治側の a 点は前述したように対象水域から外れており、さらに模型面では上流側のアプローチに位置しているために参考までとした。)

$$I_m = x/h \times I_p$$

$$= 400/250 \times 0.00055$$

$$= 0.00088$$

となる。

表-9 模型の縮率 (北流時)

水理量	現地	模型
水平方向の長さ	1	1/400
鉛直方向の長さ	1	1/250
流速	1	1/15.8
流量	1 (229.350 m <sup>3</sup> /sec)	1.58 × 10 <sup>6</sup> (0.145 m <sup>3</sup> /sec)
粗度係数	1 (0.109)	1/1.98 (0.055)

次に模型流速は

$$V_m = 1/15.8 \times V_p$$

より、たとえば西水道北流時の最も速い現地流速  $V_p = 3.5 \sim 4.0 \text{ m/sec}$  は模型では  $V_m = 2.2 \sim 2.5 \text{ cm/sec}$  となり、平均流速  $V_p = 2.0 \sim 3.0 \text{ m/sec}$  は  $V_m = 1.27 \sim 1.90 \text{ cm/sec}$  となる。

また模型の全流量  $Q_m$  は

$$Q_m = \frac{1}{250 \times 400 \times 15.8} \times Q_p$$

$$= \frac{1}{15.8 \times 10^6} \times 229.350$$

$$= 0.145 \text{ m}^3/\text{sec}$$

である。

(3) 粗度係数

模型の粗度係数  $n_m$  は現地を  $n_p$  とすると

$$n_m = 1/1.98 \times n_p$$

$$= 1/1.98 \times 0.109$$

$$= 0.055$$

となる。たとえば南流時と同じく小蒲崎付近では  $n_p = 0.109$  であるから  $n_m = 0.055$  となる。これは manning 粗度の計算式の性質から  $n_p = 0.11$  という過大な値になった。粗度係数は水路の壁面をモルタル仕上げとした場合、水理公式集<sup>5)</sup>により模型の形状抵抗を考慮すると  $n = 0.02$  と推定される。また b 点は圧流されて水位が上昇するためこれも粗度係数は 0.01 程度と推定した。これに対して現地から換算された粗度係数は 0.055 であるため残りの  $0.055 - (0.02 + 0.01) = 0.025$  に相当する粗度は人工粗度によらなければならない。

表-10 および表-11 は粗度の間隔をほぼ 1.5 cm,

表-10 西水道の水深別による人工粗度 (北流時)

水深	大きさ	間隔
1.0 cm	2.5 cm	1.4.6 cm
2.0	2.9	1.4.5
3.0	3.2	1.4.2
4.0	3.6	1.5.1
5.0	3.7	1.4.8
6.0	3.9	1.5.6

表-11 中水道の水深別による人工粗度 (北流時)

水深	大きさ	間隔
1.0 cm	3 cm	2.0 cm
2.0	3	2.1
3.0	5	2.5
4.0	5	2.6
5.0	7	2.8
6.0	7	2.7

2.5 cm としたとき、水深別粗度の大きさを求めたものであり、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。

8. 北流実験

本実験に先立って模型上の流速, 流向, 水位などを検証する予備実験を行なった。すなわち、現地の観測デー

夕および潮流図を参考資料とし、対象となる水域の流速、流向、水位が規定した値に一致するまで、上流側の流量堰、整流板および下流側の可動堰をそれぞれ調整した。予備実験の結果は、流速、流向は現地状況にはほぼ近づけることができたが、b点（ウズ鼻）の水位が現地観測の結果と若干異なった。これは現地においては南東方向

の潮流効果によりb点の水位が決定づけられているが、実験では模型規模から再現が困難であったためである。したがってこのような条件の下で本実験を進めることにした。なお、測定する位置が南流時と異なっているのは、この北流ではコノ瀬の改良地形による流れの変化を調べるため下流にAA測線を新に加え、上流のN測線を省い

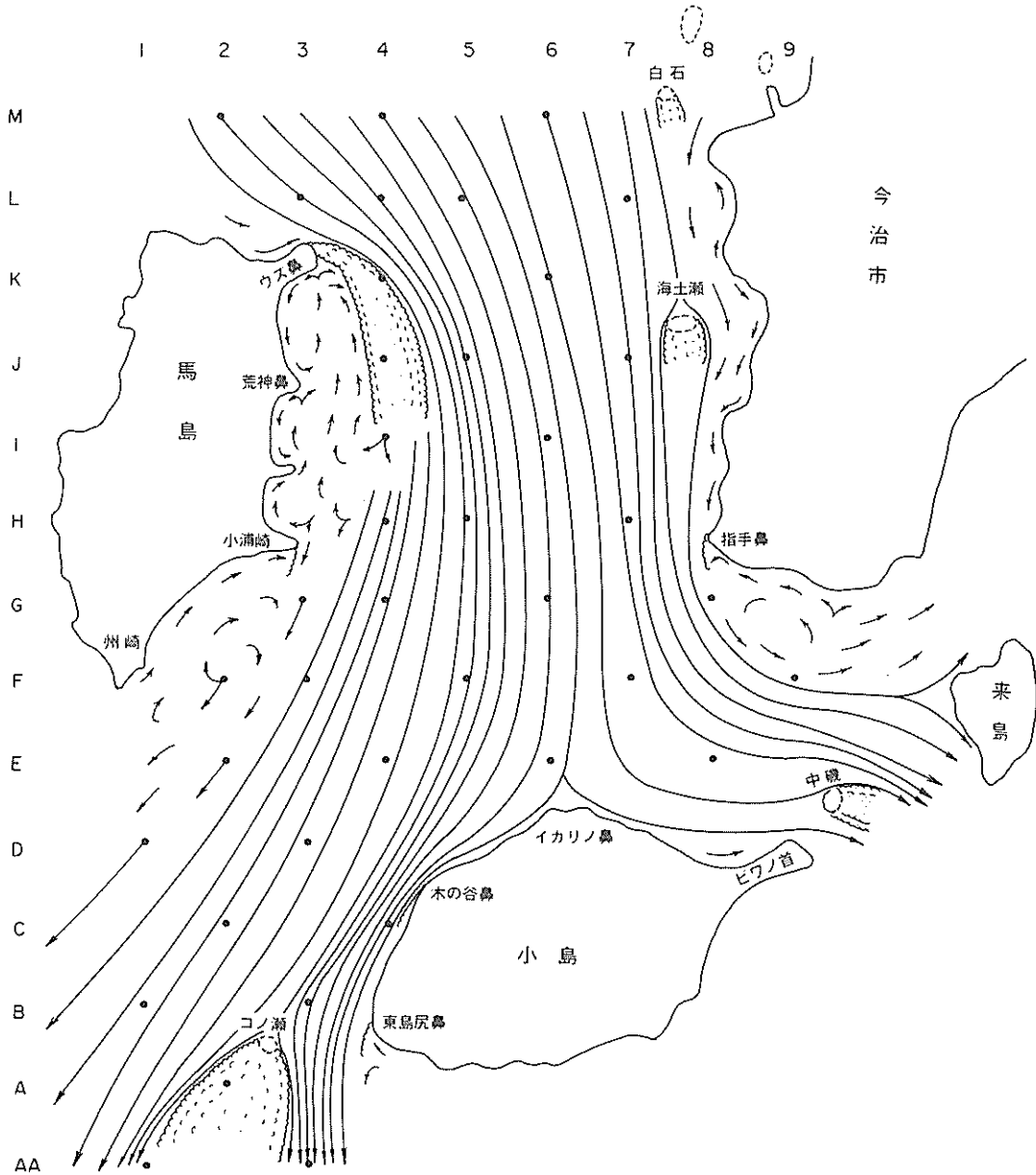


図-33 流線図 (case 1)

たためである。またデータの整理方法は南流時と同じである。

## 8-1 Case1 現況

### (1) 流線

南方の燧灘から西水道に流入した流れの状況を把握するために、上流水域のある1点に投入したものが下流水域に向ってどのような運動過程すなわち、どのような流線を描くかを示したのが図-33である。

まず流入域で大別すると、

i) 水道中央の流れは地形(水深の大きいところ)に沿って流下する模様であり、ほぼ小島イカリノ鼻の南方約8cm(32m)付近で本流と支流(来島瀬戸)に分離する。

ii) 馬島ウズ鼻付近の流れは、屈曲しながら流下して小島木ノ谷鼻前面に集中し、それから小島沿いに進みコノ瀬と東島尻鼻の間を流去する。一方の馬島西岸付近の流況は、ウズ鼻から発生する後流によって不規則な流れが生じ流線に大きな影響を与えるが、小浦崎の前面あたりから大体水道と平行に進む傾向である。

iii) 今治側の流れはすべて来島瀬戸に流れ込む様相を呈している。

次に渦流および反流域、特に馬島ウズ鼻より発生する後流によって生ずる渦流域はきわめて複雑である。この影響でウズ鼻より小浦崎にいたる区間では、不規則な反流が現われるが順流にくらべてかなり弱い流れである。さらに小浦崎の背後から州崎にかけてほとんど死水域に近く、現地においても同様に傾向で弱い反流となっている。また対岸の今治側では、白石および海上瀬の岩礁から乱れが発生し、指手島の背後にも弱い反流が生じている。一方、下流水域のコノ瀬の浅海部によって生ずる渦流は強く複雑な現象を呈している。また、小島木ノ谷鼻および東島尻鼻では剝離現象が生じ岸よりでは反流が現われる。なお、流線の作図にあたっては渦流の状況を誇張して描いている。

ここで参考までに現地で行ったフロートによる流線を図-34に示した。これを模倣実験における表面流線(図-33)と比較した場合、多少の差異はあるがほぼ似た傾向をみせている。

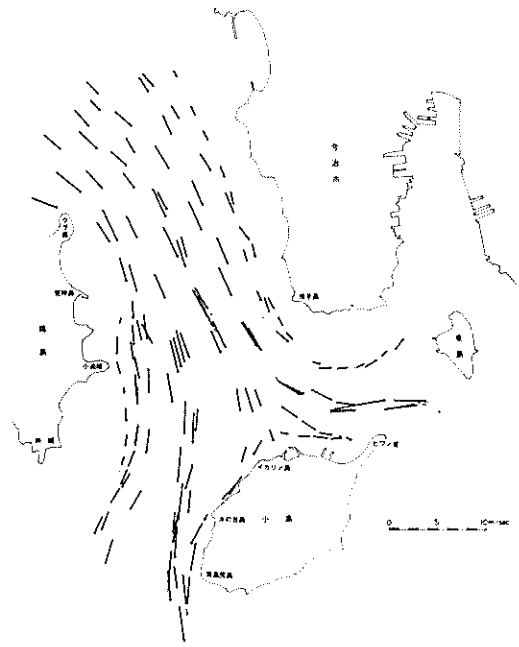


図-34 フロートによる現地流況観測

### (2) 流速・流向ベクトル

水表面下2, 4, 12cm(5, 10, 30m)の各水深における流速、流向ベクトル表示で図-35-1~3に示している。

対象となる水域内の流況を調べると、まず馬島沿いに流入しようとするM-2で各水深の流向がすでにウズ鼻の方向を示していることから判断すれば、流れがウズ鼻に圧流され水位が上昇する結果、その上流と下流側で非常に大きな水位差が生じる原因となっている。したがって、ウズ鼻をまわる流れに三次元的な剪断応力が働き岬の先端から発生する後流は、前述の流線から明らかなように渦列は帯状のパターンを示している。このため馬島西岸の4 lineの流況は、順流および反流の境界が絶えず変動しているため、定量的な状態としての流向を知ることが非常に困難である。また、小浦崎の背後から州崎付近では前にも述べたように死水域に近く、これらの現象は現地観測の結果からも検証されている。

次に水道中央付近の流れは5 lineが速くなっており、特にウズ鼻をまわりながら通過した流れは次第に加速され、J-5で各水深の平均で28.5cm/sec(現地では450cm/secとなる)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下するが、小浦崎を過ぎたあたりから(馬島と小島の間)流心

が小島寄り移動する傾向で、その後はコノ瀬の北東方向に流れ去るものと推定される。また、小島の木ノ谷付近で下流水域における最も大きな流速が現われる。この要

因は、上流の5 line の流れにさらに6 line の流れが加わり、その上平面地形による剥離あるいは海底が浅いためこのような現象が生じたものと思われる。

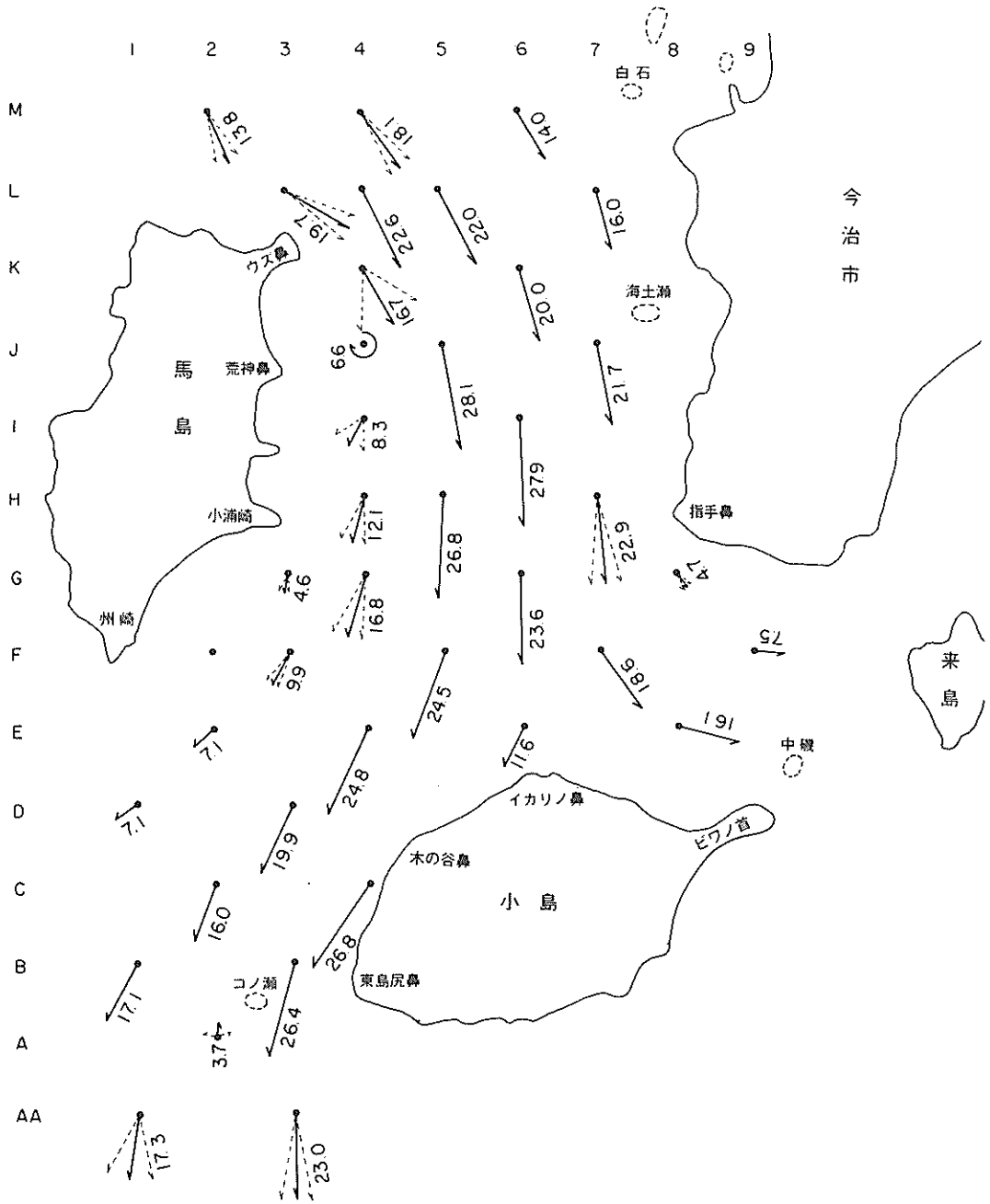


図-35-1 流速・流向ベクトル表示図 (case 1)

一方、今治側の流況で流入域よりJ測線付近までの流向は左寄り（流下方向に向って）の傾向が強い。これは模型範囲外の海底地形に南東の大水深があって流向を決

定づけていること、さらに図から観察できるようにウズ鼻をまわる流れによって押されることなどが最も大きな要素と考えられる。流速は流下にもない除々に増速さ

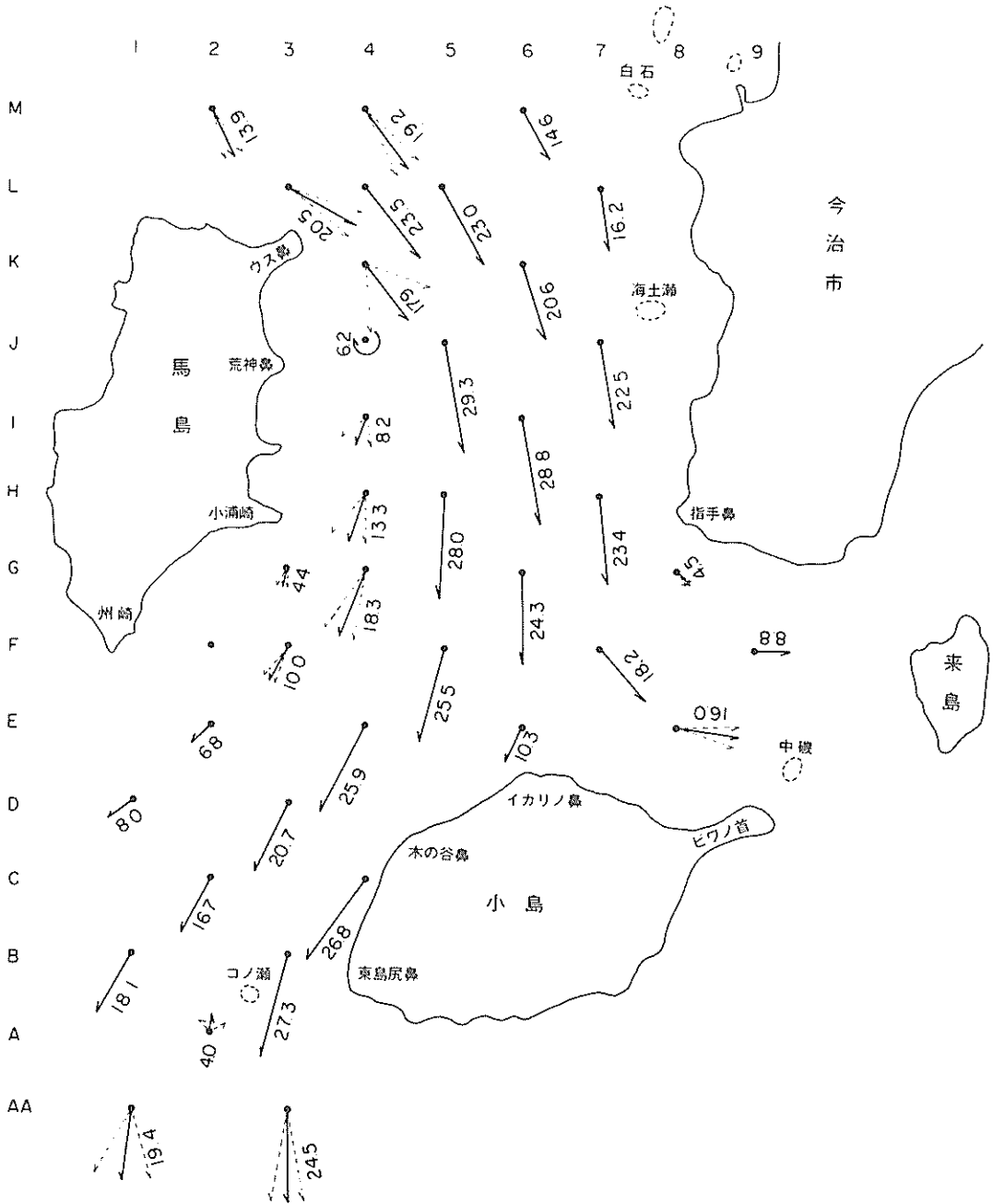


図-35-2 流速・流向ベクトル表示図 (case 1)





(3) 流速鉛直分布

この実験は鉛直方向における流れの分布を調べるため  
ほぼ水道の中央で水深が大きいところ6点選んで測定し  
たものを図-36-1~6に示した。

流入地点L-5の流速分布から表層(水深2cm)が若  
干遅くなっているが、中層(水深18cm)まで23~24  
cm/secの様な分布を示し、それより底層に向って急激  
に流速の低下がみられる。また、流向は底層(h=24  
cm)を除き水深各層において今治寄りの方向を示してお

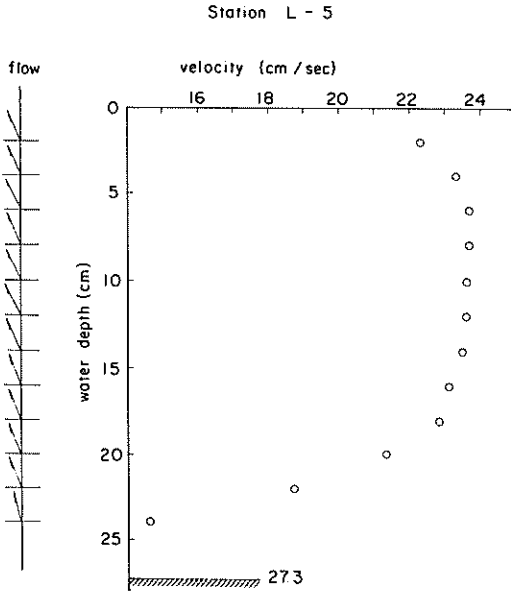


図-36-1 流速鉛直分布図 (case 1)

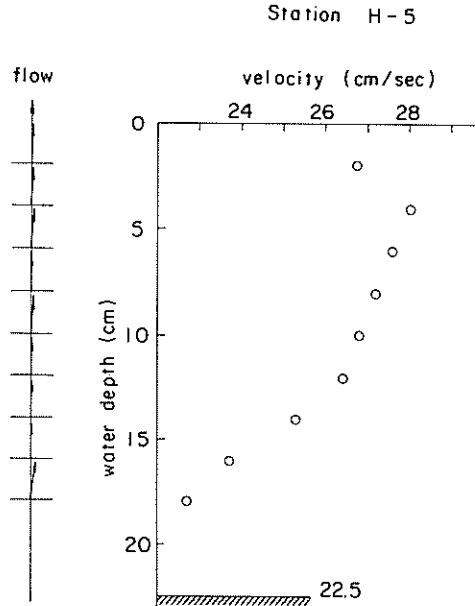


図-36-3 流速鉛直分布図 (case 1)

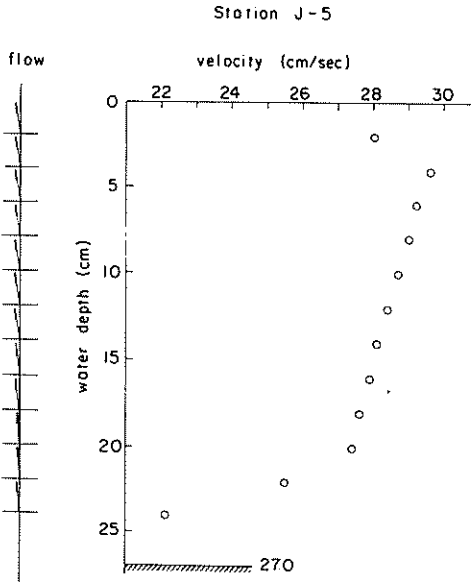


図-36-2 流速鉛直分布図 (case 1)

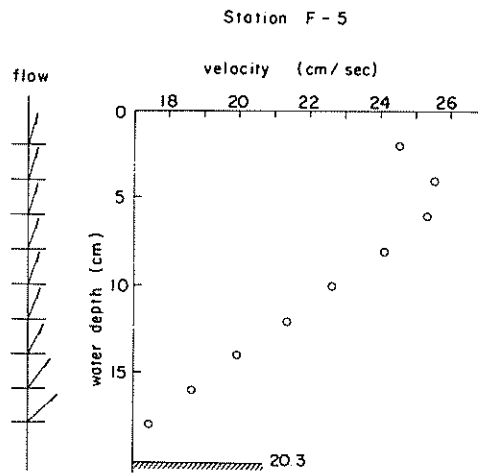


図-36-4 流速鉛直分布図 (case 1)

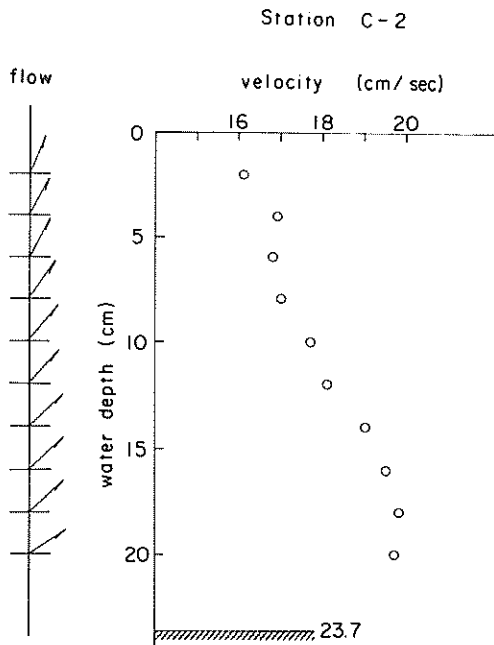


図-36-5 流速鉛直分布図 (case 1)

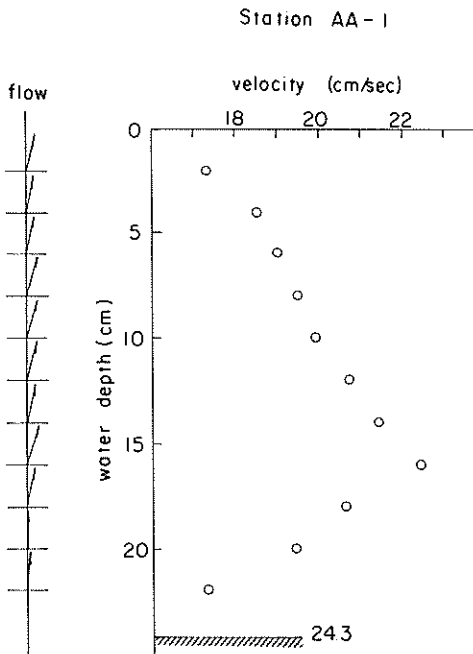


図-36-6 流速鉛直分布図 (case 1)

り、その他は似た性質を呈している。

次に J-5 では、ベクトルで述べたようにウズ鼻を通過した直後流速が最も加速され、したがって分布にもその影響が現われている。図からわかるように水深 4 cm から 20 cm にかけて漸次減速され、しかも傾向が比較的直線状の分布であり、流向も水深各層において左寄り、前測点よりもやや水道に平行に進む模様である。

H-5 でもやはり表層 (水深 2 cm) の流速が遅く、前測点と同じような傾向が水深 4 ~ 12 cm に現われ、それより底層に向い流速は漸減されている。流向分布はすでに上流測の J-5 で右寄りの傾向が現われ始めていたが、この地点でさらに明瞭になり水深各層で水道平行あるいはやや右寄りの傾向が現われている。

F-5 は西水道の屈曲部に位置している関係から、流速および流向の分布に変化が生じている。まず、流速分布から表層と底層の流速差が大きく、水深 6 cm から 18 cm までの減少傾向が直線的な性質をみせ、さらに流向分布から判断しても水深 12 cm あたりから底層に向け、右寄りに角度を大きく変化させている。これはこの付近の海底地形が屈曲している上、海底の高低差によることなどが最も大きな原因と言えるであろう。

C-2 はこの地点がコノ瀬の南東 (やや南方に近い) に位置しているため、流速分布にコノ瀬浅部の影響が現われ始め、表層から中層付近の流速が低下し、逆にコノ瀬の影響が少ないと考えられる底層付近に最大流速が出現する。これらは流向分布からも明らかなように右寄りの傾向が強く海底地形の影響 (屈曲) を意味するものである。

流出地点 AA-1 では、図-33 の流線から明らかなようにコノ瀬から形成される後流端に位置していることから特殊な分布を示している。すなわち、最大流速が水深 16 cm (40 m) 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近傍で強力な水平交換の存在を考えてやると説明できる。

#### (4) u, v 成分

u, v 成分の測定位置は図-37 に示すごとくコノ瀬を改良した場合、地形を改良することによって生ずる流れの変化および性質を調べるため、コノ瀬の周辺に縦方向 25 cm (100 m) 横方向 5 cm (20 m) の測点を設けた。ただし、今回の場合の測点は南流時とは異なっている。通常は南流時と比較する意味から南流時と対応する位置 (測点) で測定するのが妥当と考えられるが、南北流では流れの性質その水理条件が異なるため、コノ瀬の地形が及ぼす影響が大きいと思われる下流側に重点を置き測定を行なうことにした。

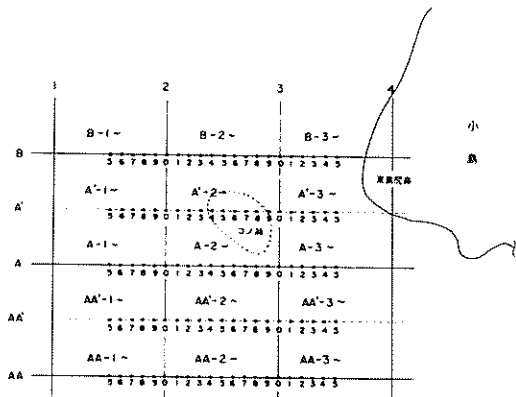


図-37 u, v 成分測定位置

現況時の  $u, v$  測定については図-38-1~10に示すように上流測からB, A', A, AA', AA測線の5断面とし、測定する水深は水表面下  $h=2, 6, 8, 10, 12$  cmとした。なお、 $u, v$  の測定にあたっては水深8 cm以深は南流時の実験と同じく、コノ瀬の改良地形が及ぼす

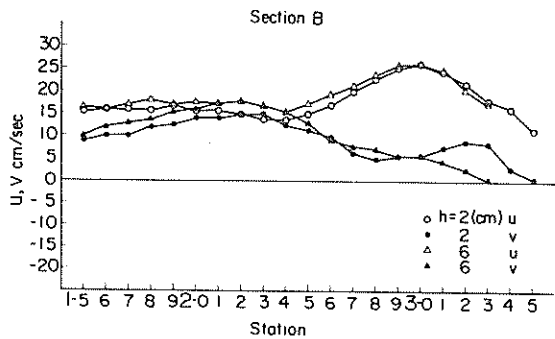


図-38-1 u, v 成分 (case 1)

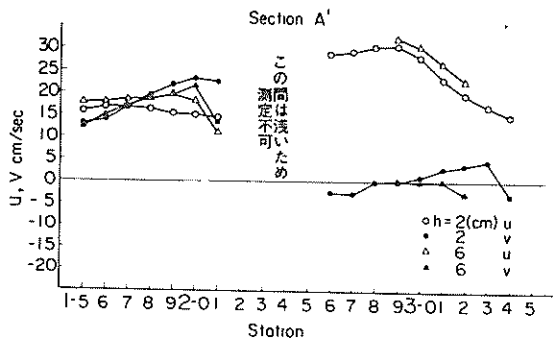


図-38-2 u, v 成分 (case 1)

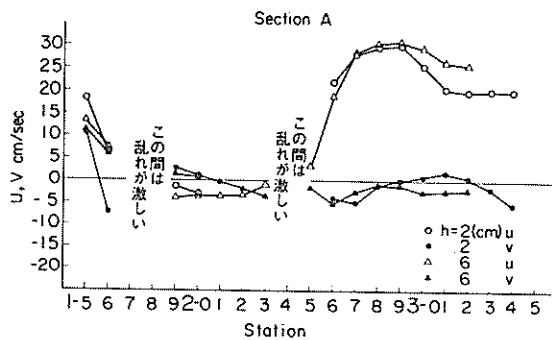


図-38-3 u, v 成分 (case 1)

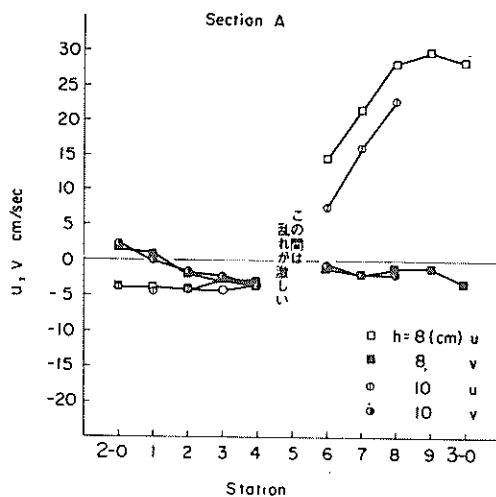


図-38-4 u, v 成分 (case 1)

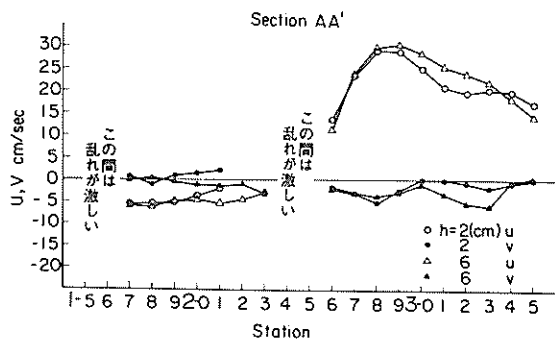


図-38-5 u, v 成分 (case 1)

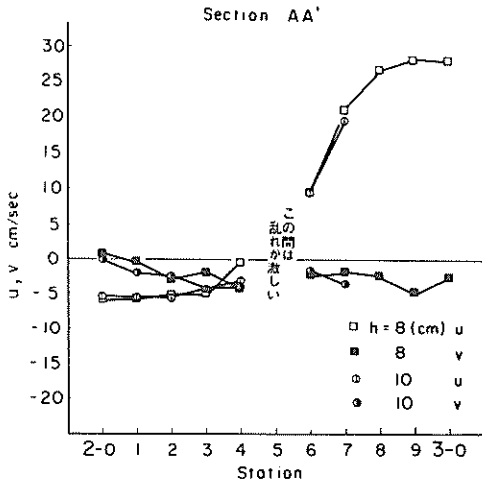


図-38-6 u, v 成分 (case 1)

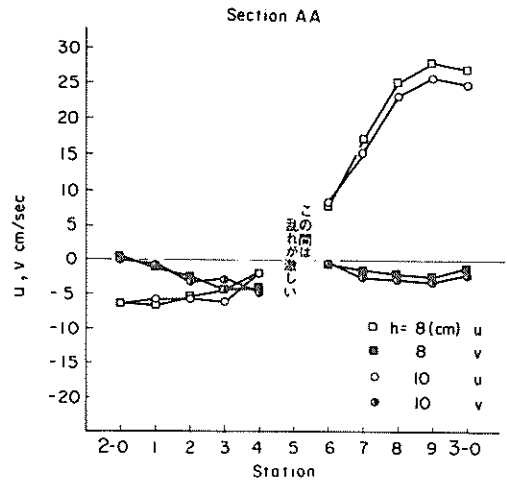


図-38-9 u, v 成分 (case 1)

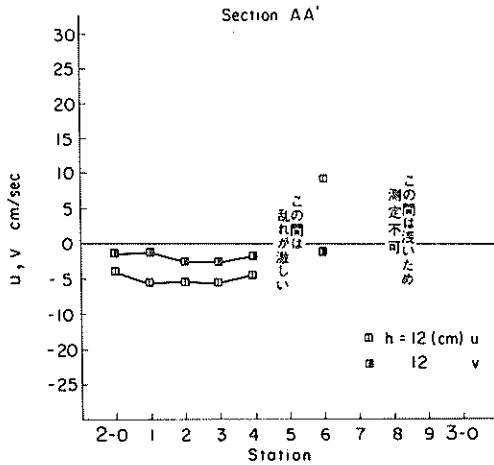


図-38-7 u, v 成分 (case 1)

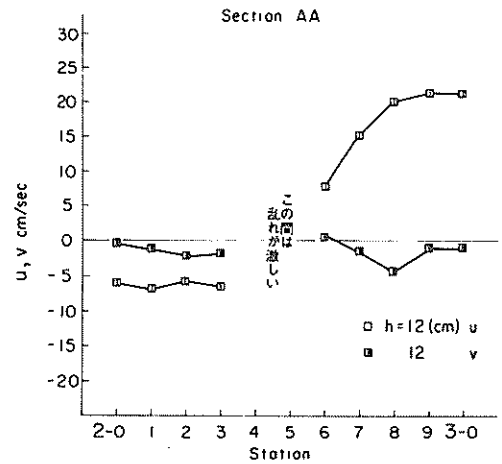


図-38-10 u, v 成分 (case 1)

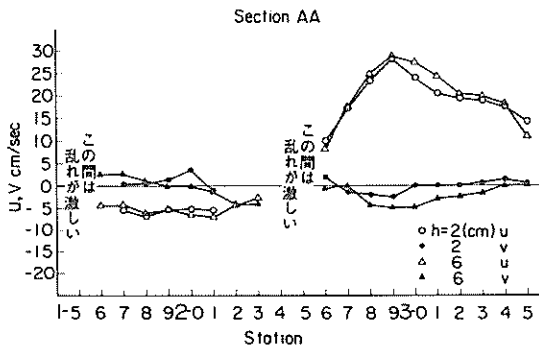


図-38-8 u, v 成分 (case 1)

下流水域 A, AA', AA 断面の計測 line 2~3 で行なうことにした。

まず、B 測線の測定水深 ( $h = 2.6 \text{ cm}$ ) における  $u, v$  の分布はほぼ似た傾向を示している。流下方向の流速成分  $u$  は沖方の B-1-5 から 2-4 まで平均流速  $13 \sim 17 \text{ cm/sec}$  の値で一様な分布であるが、B-2-5 から漸次増速されて B-3-0 で約  $26 \text{ cm/sec}$  の流速となり、これより小島に近づくにしたがい再び減速されている。一方、 $v$  成分はすべて正の値をもち下流に向かって右寄りに流向を与えており、B-2-5 から次第に 0 の値に近づく傾向は流れが Y 軸 (流下方向の計測 line) の方向に変化して行くことを意味している。 $u, v$  の分

布からコノ瀬と東島尻島間の流れが沖方の流れより遅いことがわかる。これはコノ瀬浅部の存在によってこの区間が狭い水路のような形となり、上流の本ノ谷島付近の強い流れがそのまま入り込むことが、このような現象を生じさせているものと考えられよう。

A' 測線はコノ瀬の浅部に位置していることから、 $h = 2\text{ cm}$ でA'-2-2から2-5までと $h = 6\text{ cm}$ のA-2-2から2-8までは、流速計の構造上の問題も含め測定するのは不可能であった。

分布より明らかにコノ瀬の浅部によって流れが分離され、沖方(A'-1-5から2-1)の $u$  ( $h = 2, 6\text{ cm}$ )はほぼ様な流速をみせているが、 $v$  ( $h = 2, 6\text{ cm}$ )は当然のことながらコノ瀬に近づくにつれ右寄りの傾向が強くなっている。一方のコノ瀬から小島よりの流れの中で特にA'-2-6~3-0の区間では、前述の沖方の流れよりも平均流速で約20%も大きく、これは上流のB測線でもこのような傾向は現われていたが、この地点で流れが加速されたことによってさらに明瞭になっている。また、 $v$ はコノ瀬から小島よりに左から徐々に右方向に変化していく模様である。

次にA測線は図-37からわかるようにコノ瀬のすぐ下流に位置しているため、コノ瀬浅部の影響を受けて流速分布が特有な変化を示し、その流速差がきわめて著しく現われている。特にA-1-9から2-3で $u$  ( $h = 2, 6\text{ cm}$ )が負の値を示していることは逆流であり、これは反流域の両側にコノ瀬から発生する後流の影響を受け不連続流が生じるためである。さらに $v$  ( $h = 2, 6\text{ cm}$ )にも測定値の散乱が目立ち、 $u, v$ の交差している付近は図-33の流線からも攪乱区域内であることが明確である。また、測定水深8, 10cmの $u, v$ は水深2, 6cmとほぼ似た性質を持っている。

AA', AA測線については、測定水深の各層で $u, v$ 分布が似た傾向を示している。ここで上流のA測線と比較した場合、特にコノ瀬浅部によると考えられる反流域( $u$ が負の値)が流下に伴い、その幅を沖方に広げていることがわかる。この原因はコノ瀬の上流水域における流線が平面あるいは海底地形によって左右されると共に、コノ瀬の浅部に圧流され沖方に押されていることが流線図からも明瞭である。

以上の結果よりコノ瀬周辺の流況は、全測線を通じてコノ瀬から小島よりの3-1付近まで流下方向の流速成分 $u$ が25~30cm/secとほぼ一定した分布を示し、3-1から小島よりにかけては島の影響を受けて減速する模様である。一方、コノ瀬より沖方では15~20cm/secと前述のコノ瀬-東島尻島間の流れよりも小さな値を示し

ている。流向( $v$ 成分)はコノ瀬を境として沖方は右方向を示し、小島寄りではY軸に平行あるいはやや左寄りの傾向が現われている。また、コノ瀬の影響を受ける攪乱域では、きわめて不規則な流状で乱れが激しく、定常的な流速、流向をとらえることはできなかった。

## 8-2 Case2 コノ瀬Cut-20m

この実験は、コノ瀬を掘削-20cmと改良した場合で南流時と同じ方法を用いて行なった。

### (1) 流線

図-39の流線からわかるようにコノ瀬の地形改良により乱流域が消え整流されることは効果的である。しかし今回の実験においても相似のところ述べてのように、粘性と加速に関係するReynolds numberが現地と模型の間で相当の差があるため、模型現象がそのまま現地に適応できるかどうかは疑わしい。対象水域内でcase1と比較して流線に変化がみられる水域は小浦崎を通過したF測線あたりから徐々に現われ始め、それより下流に向って変化が大きくなり、特にコノ瀬の周辺が顕著である。他の水域では多少の差異はあるがほぼcase1と似た性質をみせている。

### (2) 流速・流向ベクトル

水表面下2, 4, 12cmにおける流速、流向ベクトル表示を図-40-1~3に示した。

このcase2では地形を改良した効果はコノ瀬の周辺であり、流速、流向ともその変化が著しい。特にコノ瀬浅部のすぐ下流に位置しているA-2では、case1で測定水深の平均で3.8cm/secの逆流であったものが、浅部を掘削した結果は順流となり流速23.1cm/secと大幅に増大する。このような現象が生じた最も大きな原因としては、case1の現況時に流れが浅部(突起)を通過する場合、その物体(浅部)に流れが接する部分で剥離され、渦または不連続面が現われて不規則な流れを生じさせていたが、このcase2の改良地形が水深-20mで掘削面を一応平坦に仕上げている関係から突出部がなくなり、したがって粗度の要素が小さくなって整流され増速することが考えられよう。

さらにコノ瀬の上流C-4, B-3および下流のAA-3において改良地形の影響によりcase1にくらべ流速に変化がみられる。case1に対比してcase2で平均流速が増加した地点はC-4で約7%, B-3で約12%を示し、逆にAA-3では現況時の約1/2と大きな減少率となっている。このAA-3の大幅な流速低下はA-2がcase2で増速されたことと考え合せ、流心がcase1よりも右寄りになったことを意味し、流線図および流

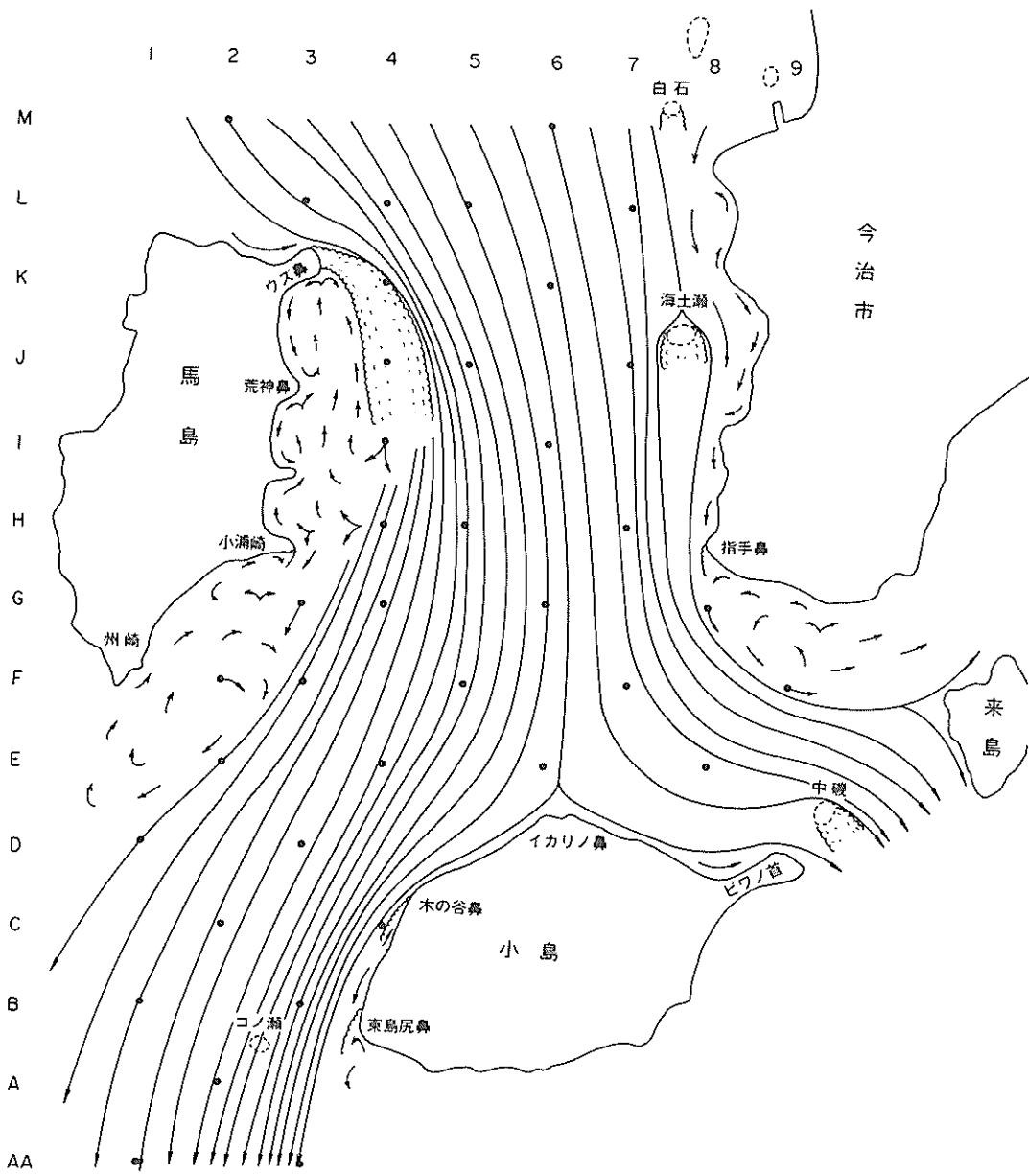


図-39 流線図 (case 2)

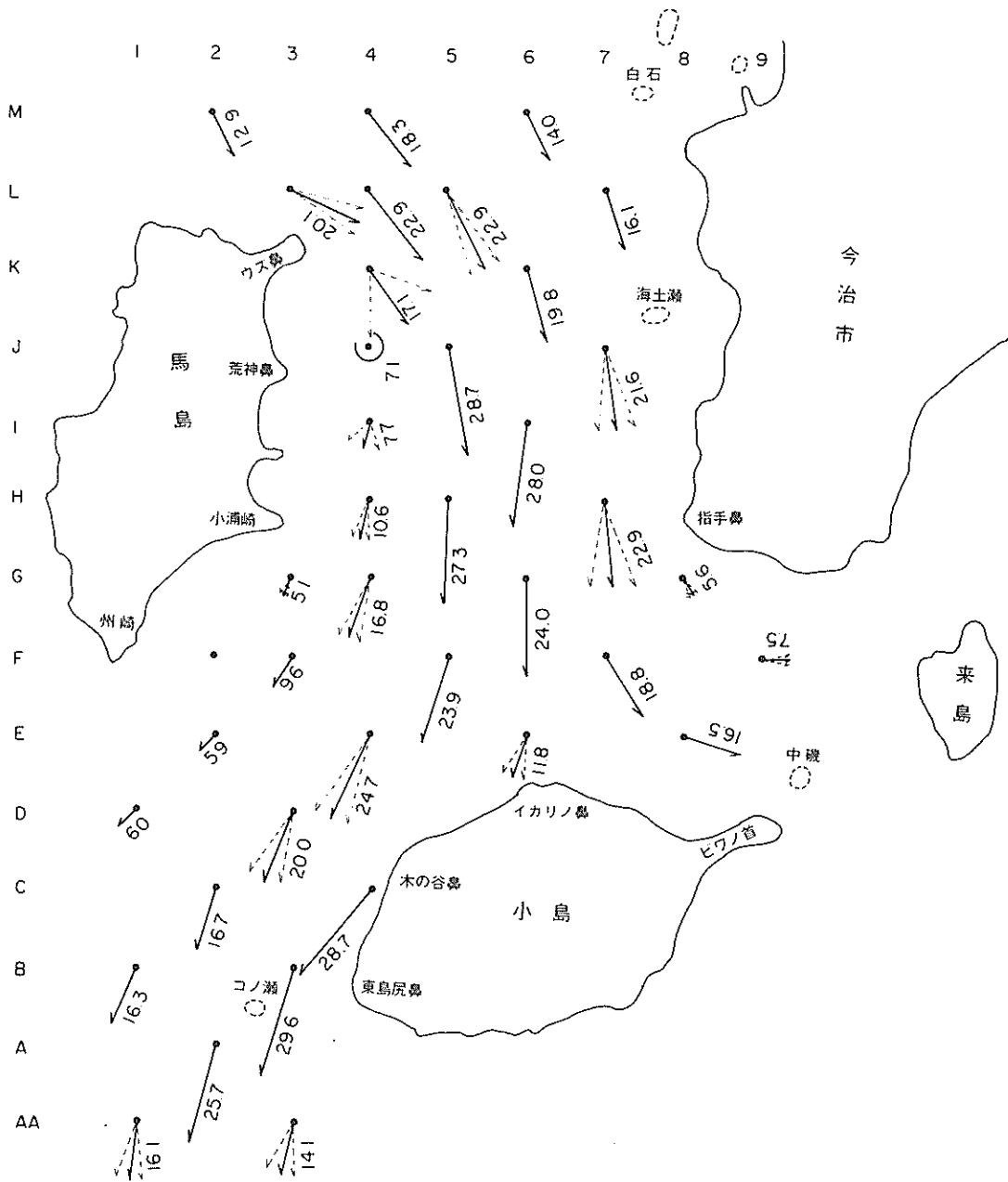


図-40-1 流速・流向ベクトル表示図 (case 2)



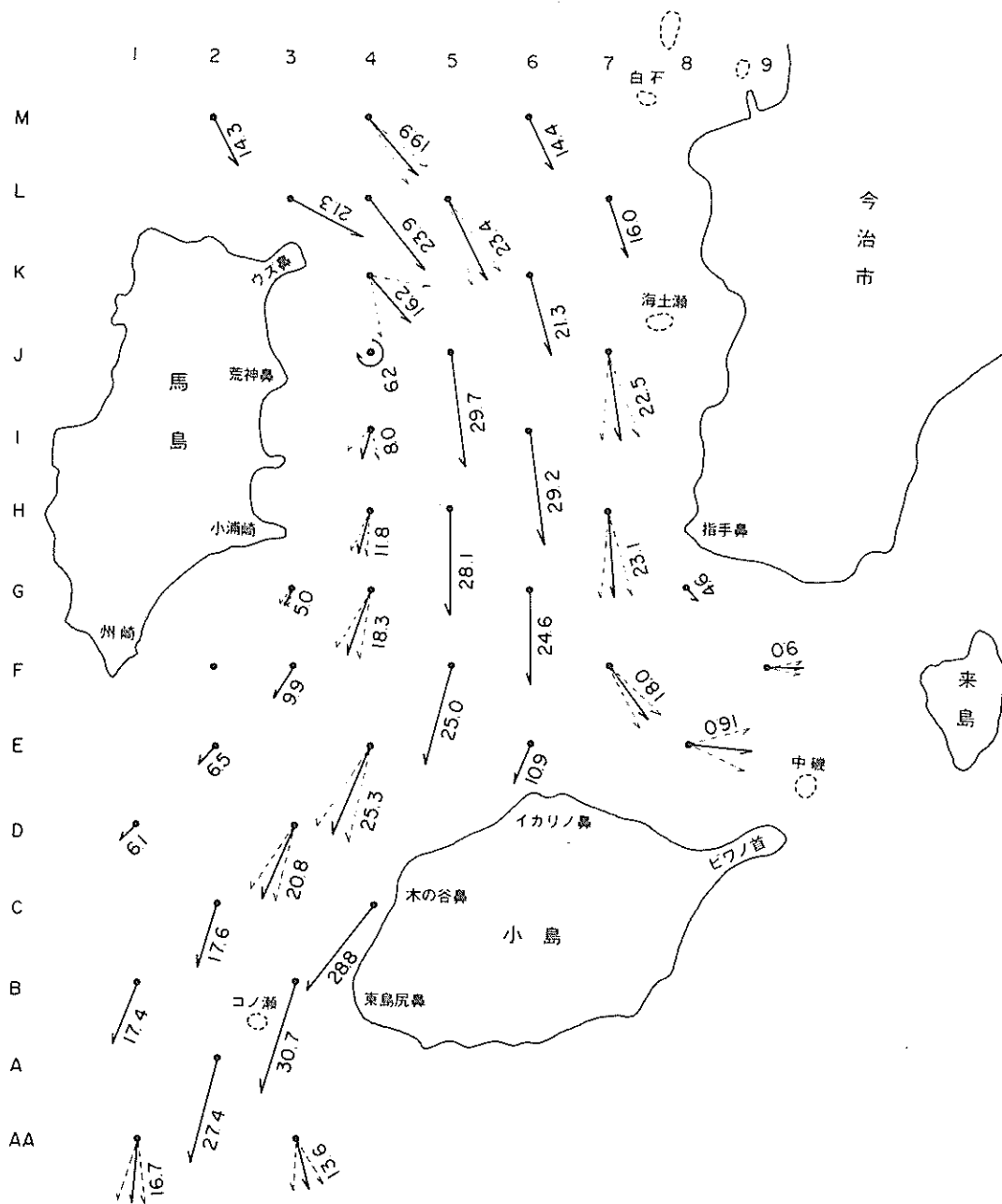


図-40-2 流速・流向ベクトル表示図 (case 2)

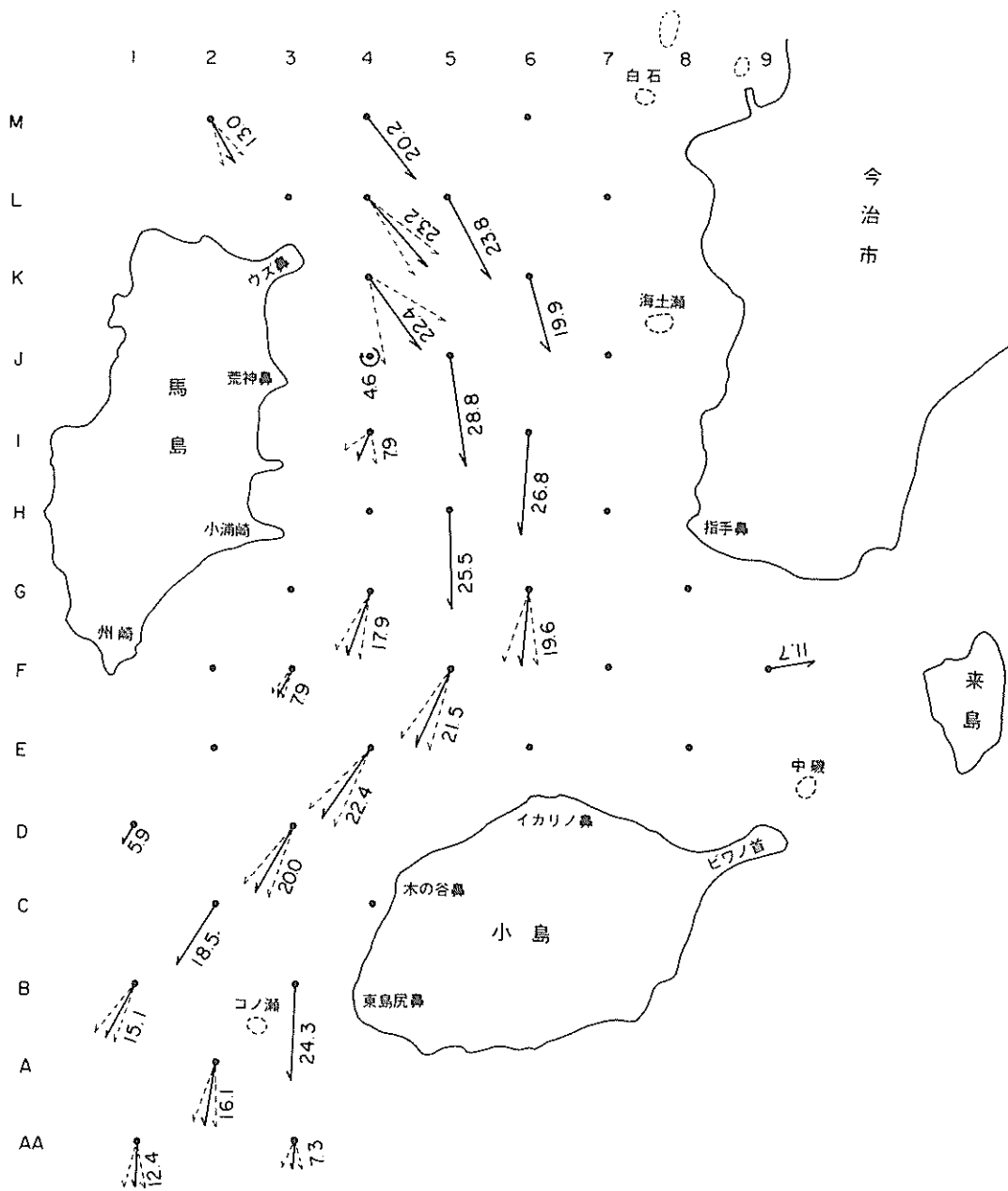


図-40-3 流速・流向ベクトル表示図 (case 2)

向分布からこのことは容易に知ることができる。また他の水域での流況の変化はベクトル図からわかるようにそれほど明らかではない。

(3) 流速鉛直分布

この測定は case 1 と同じ位置で行ない図-41-1~6 に示している。

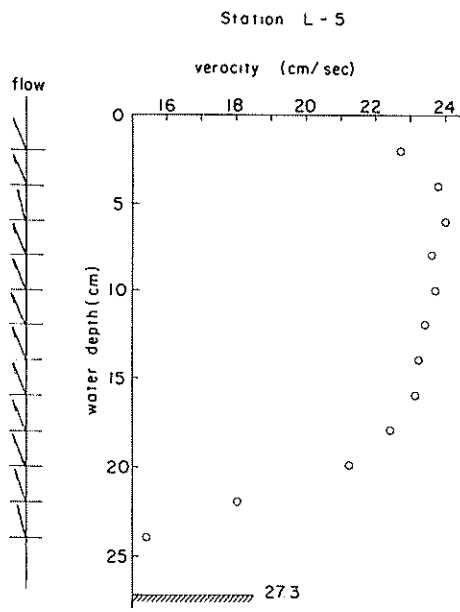


図-41-1 流速鉛直分布図 (case 2)

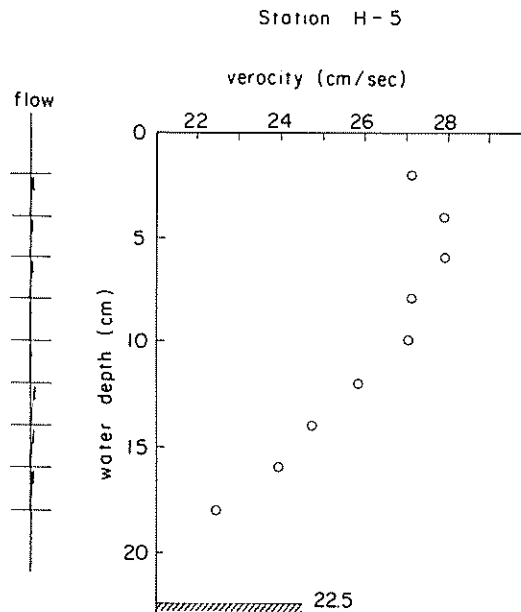


図-41-3 流速鉛直分布図 (case 2)

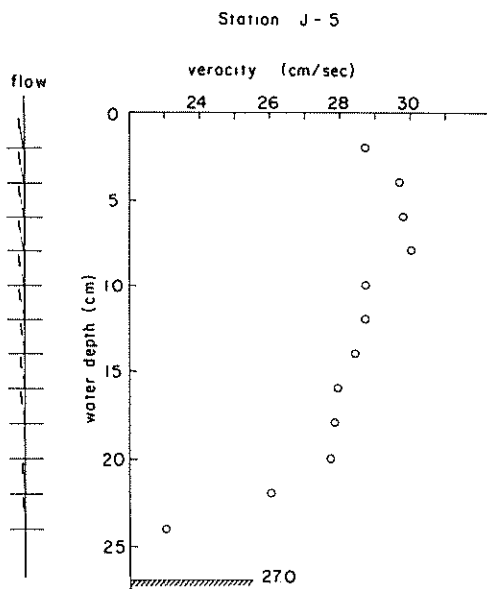


図-41-2 流速鉛直分布図 (case 2)

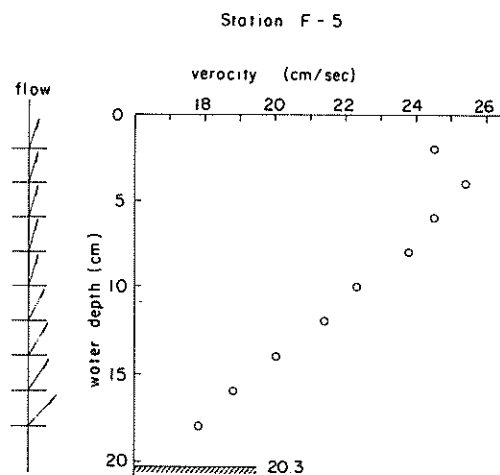


図-41-4 流速鉛直分布図 (case 2)

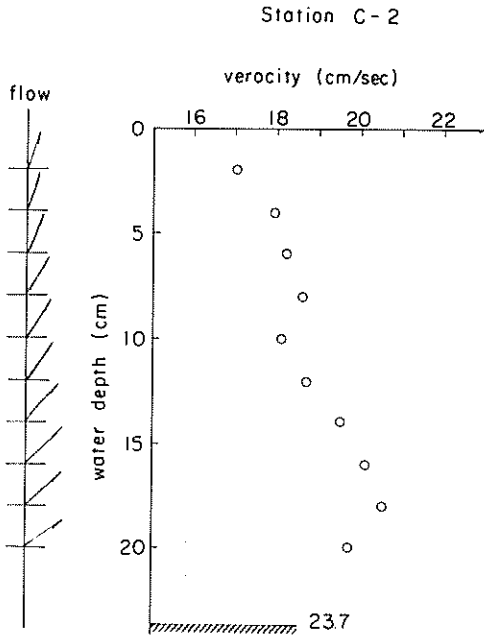


図-41-5 流速鉛直分布図 (case 2)

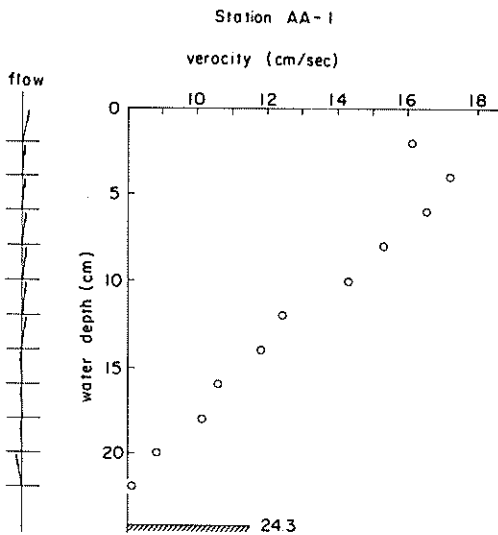


図-41-6 流速鉛直分布図 (case 2)

地形の改良が対象水域内の下流であるため、総合的な傾向として上流水域に及ぼす影響はほとんどない。たとえば、上流からL-5, J-5, H-5, F-5, までの流速, 流向分布からわかるように多少の差異はあるが

ほとんど case 1 と似た性質をみせている。

ここで参考までに南流時では、地形改良が上流であるため下流水域の流況に大きな変化を与えた。これは第5章で述べているように上流部の流れの変化によって、来島瀬戸からの流れとの合流地点が移動し、したがってそれより下流側においても流況変化が著しいのである。

鉛直分布はC-2でようやく改良による影響が現われ始め、case 1 に対して case 2 では水深各層で流速の増加がみられる。特に水深8cmまでの4測点の分布に著しくづれが生じ、これは掘削水深-20mは模型に換算すると8cmであり、これから判断しても改良地形による流れの変化が明確である。

流出地点のAA-1は、地形の改良前後で流速, 流向分布が最も大きく変化した場所である。前述したように case 1 (図-36-6参照) では、中層よりやや下のところに最大流速が現われ、それより上方に向かって流速が漸減していたことは、規模の大きな乱流交換がこの付近に生じているものと考えられた。ところが case 2 では表層付近が速く底層に向かって減少し、その分布も多少散らばっているが直線的な傾向を示している。測定水深の各層の流速値を平均して case 1 と case 2 を対比すると、case 2 が約35%の減少率で乱れの消失と共に改良地形はきわめて効果的である。

(4) u, v 成分

コノ瀬を改良した後の流れの性質を調べるため、case 1 と同じ位置を用いて u, v 成分を測定し、その結果を図-42-1~10に示している。

各測線についての流況分布から言えることは、全般的な傾向として改良による効果は大きく、case 1 でみられた攪乱領域が消え整流されているということである。しかし、改良地形にともなって流速は case 1 より case 2 がはるかに増大し、これは突起がなくなって粗度の減少ともなり必然的な結果と思われる。

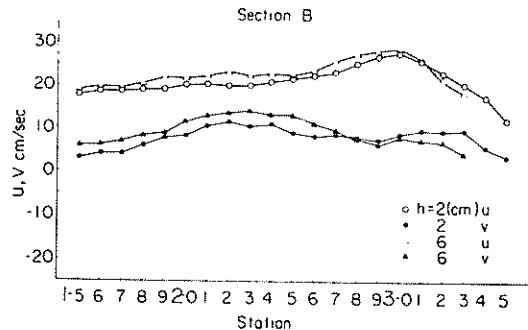


図-42-1 u, v 成分 (case 2)

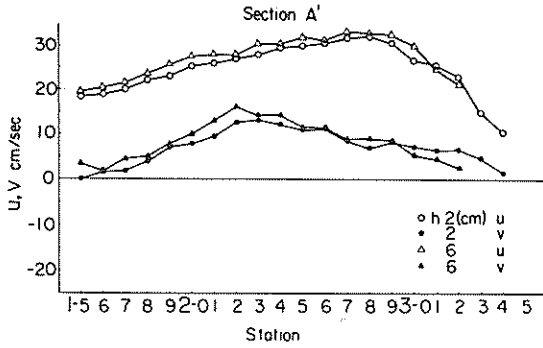


図-42-2 u, v 成分 (case 2)

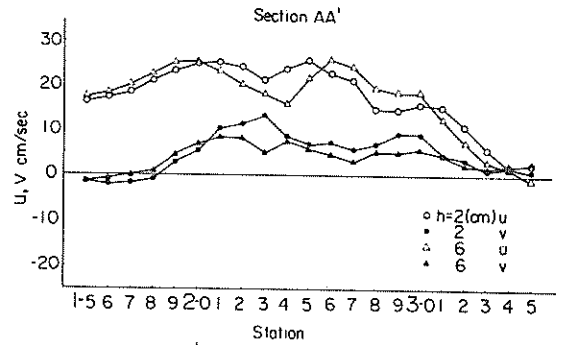


図-42-5 u, v 成分 (case 2)

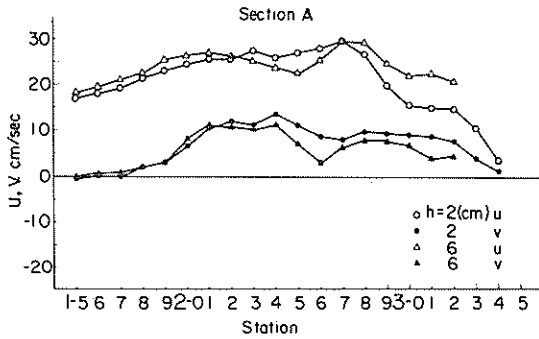


図-42-3 u, v 成分 (case 2)

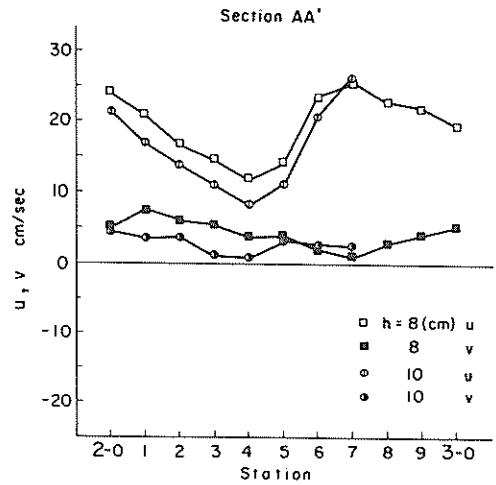


図-42-6 u, v 成分 (case 2)

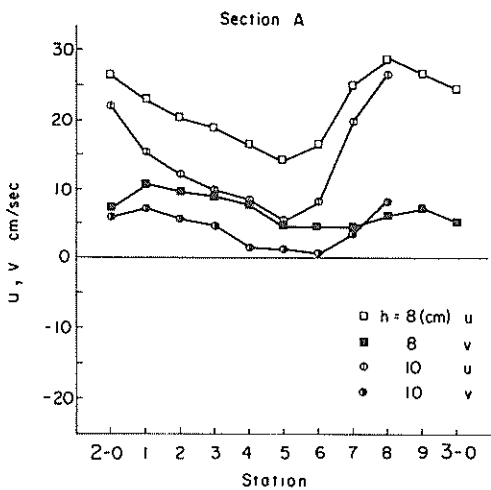


図-42-4 u, v 成分 (case 2)

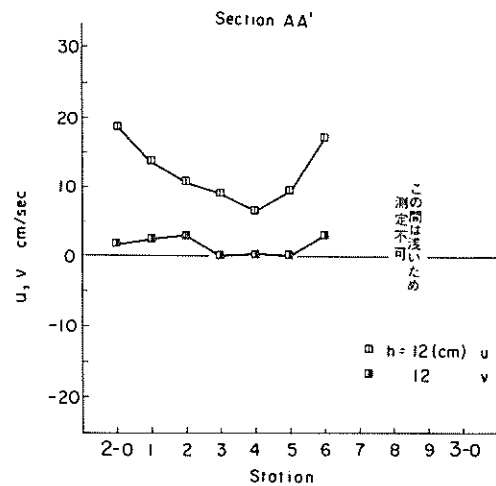


図-42-7 u, v 成分 (case 2)

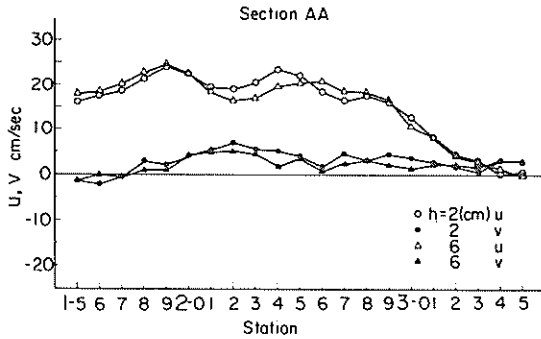


図-42-8 u, v 成分 (case 2)

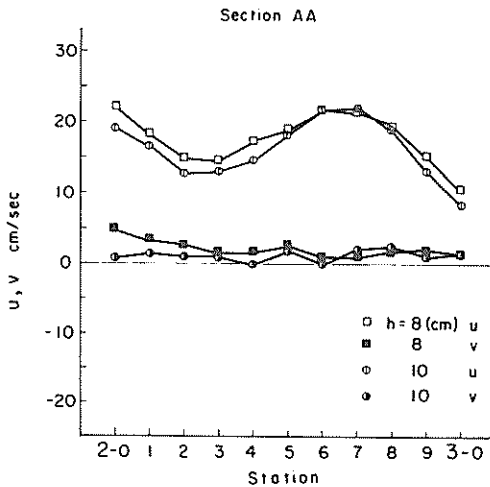


図-42-9 u, v 成分 (case 2)

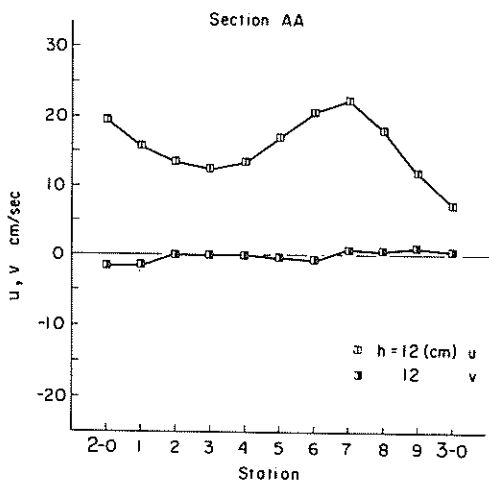


図-42-10 u, v 成分 (case 2)

B測線はコノ瀬の上流に位置しているが、図からわかるように改良による流れの変化が明らかである。すなわち、沖方の1-5から2-5の区間が著しく、u成分はcase 1にくらべcase 2で平均流速約5 cm/secの増加であり、v成分は逆に減速して右寄りの傾向が小さくなっている。しかしながら3-0から小島よりでは、ほとんど変化はみられずcase 1と似た性質を持っている。

次にA'測線については、case 1でコノ瀬の浅部により、ある区間が測定できなかったが、掘削した関係からこのcase 2では測定が可能になった。u成分は前測線Bと同じように沖方が増速され、その傾向も直線的な分布で測点2-6まで漸増している。一方、v成分の変化は著しく沖方の1-5から2-1でcase 1に対してcase 2が大幅に減少しており、この結果は沖方の流れがcase 1より大きく左寄りになっている。また小島よりではcase 1でみせた左寄りの流向が消え、このcase 2ではすべて右寄りを示している。

A測線は、コノ瀬のすぐ背後であるためcase 1で浅部の影響を受けて限られた区間(図-38-3~4参照)では、各水深で乱れが激しく定量的な流速、流向を測定することは困難であった。しかし、地形を改良したことにより沖方の流れは上流のA'測線と大体同じような分布で漸増し、小島よりの流れは反対に漸減している。したがって図から明らかにcase 1よりはu, v (h=2, 6 cm)ともよく整流され、特に流下方向の流速成分uが測線上で流速差が小さくなっている。しかしながら測定水深(h=8, 10 cm)では、case 1でみられた激しい乱れは消失しているが、u成分が特殊な分布を示している。これは水平面内の流れの平均化が進まず若干不規則な流れが存在しているためであり、水深が深くなるほどその傾向が強くなっている。

AA', AA測線においては、上流の各測線と同じようにcase 1でみられた激しい乱れは消えてよく整流されていると言えよう。

ここで地形を改良した後における上流のB, A', A測線と比較して変化したところを示せば、測点2-8から3-5の小島よりであり、流速の低下が顕著である。これはコノ瀬cutの影響で流れの速い部分が沖方に移動しているためであり、流線図のcase 1とcase 2をくらべれば明瞭である。

#### (5) 馬島西岸の流況

この実験は馬島の西岸を改良した場合、当然その周辺の条件はそれに応じて変化して行くものと考えられ、したがって改良前後の流れの変化を調べるために測定している。なお、測点はベクトル表示(図-40参照)の中間

に新しい点を加えて行なった。

図-43-1~2に示すごとく全般的な傾向としては前述のベクトル表示と似た性質をみせている。しかし、追加点によりウズ鼻から発生する後流の影響が明確になり、荒神鼻の前面 J', J, I' の4 line では渦流が生じている。全体的な流れのパターンは南方に位置しているウズ鼻の陸岸突出部の存在により、下流水域における流況に大きな影響を与えていることであろう。また燧灘からこの西水道に流れ込む潮流は、平面および海底地形に左右されるが、特にウズ鼻に流れが圧流されて水位が上昇するため、非常に大きな水位差が生じることは現地観測の結果からも明らかである。このためにウズ鼻をまわる流れは沖方にはみ出すような傾向が強く、流下するにしたがい流心は次第に水道中央に移動し、その内側にあたる馬島沿岸の流況は複雑な逆流あるいは弱い流れとなり、馬島西岸の全域にまで及んでいる。なお、この実験データをもとに後述する case 3 および case 4 の改良地形との比較検討を、第9章で流速、流向(変動量)を無次元表示して説明する。

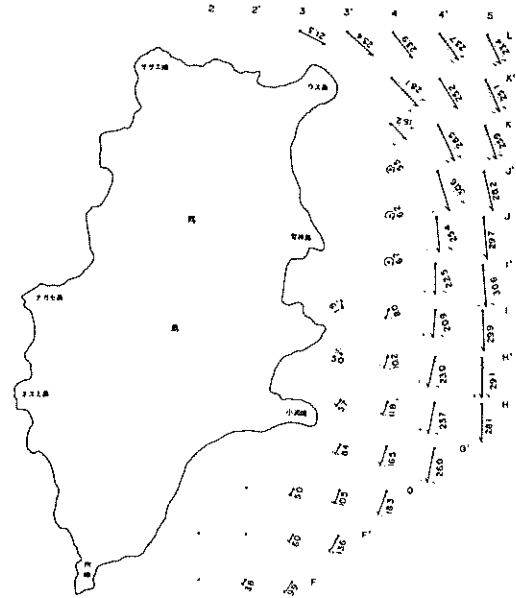


図-43-2 馬島西岸の流況 ( case 2 )

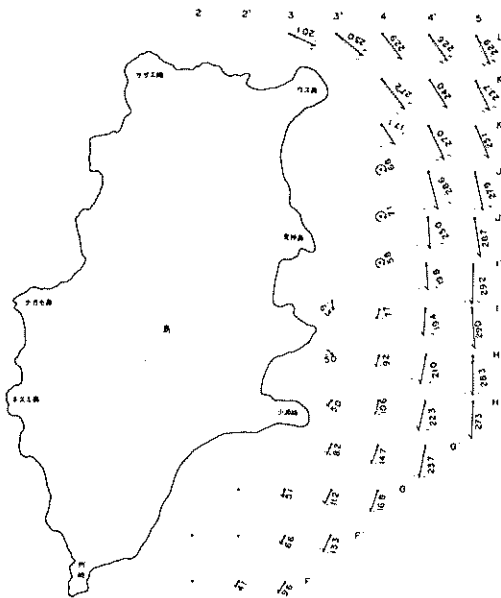


図-43-1 馬島西岸の流況 ( case 2 )

### 8-3 Case 3 馬島西岸の導流堤

この実験では南流時で述べたように、馬島西岸部の平面地形および汀線付近の海底地形から発生する渦流の緩和対策として構造物(導流堤形式)の設置を試みた。すでに南流での実験結果は検証されたが、この北流では水理条件が異なるため、どれが最適であるかを検討するものである。

#### (1) Case 3-1

この導流堤の法線等については図-1-1 および写真-3を参照されたい。

#### (2) 流線

この北流では、ウズ鼻から発生する渦流がコノ瀬の渦流と共に航路内に与える影響は最も大きいものであったが、図-44 からわかるようにウズ鼻周辺を導流堤で囲ったことにより、case 1 および case 2 でみられる攪乱域(陸岸突出部の平面あるいは海底地形による影響)が消え整流されることは効果的である。しかしながらウズ鼻を囲っている導流堤から剝離が生じるため、その下流水域(剝離された内側)で不規則な流れが発生する。さらに各々の導流堤内あるいは導流堤の間隙においても複雑な様相を示しており、その結果主流との流速差が非常に大きくなる。

以上から case 3-1 と case 2 の流線を比較すると、

前述したように導流堤を設置した場合、その周辺の流況が case 2 よりも複雑な現象を示す。また導流堤を設置したことによりウズ鼻をまわる流れが島よりに引き寄せられ、その下流側の西岸沿いの流れおよび流出付近にお

ける 1, 2 line の流況が著しく変化した。その他の水域の流況は大体 case 2 と似た性質である。

(3) 流速・流向ベクトル表示

水表面下 2, 4, 12cm の各水深における流速, 流向

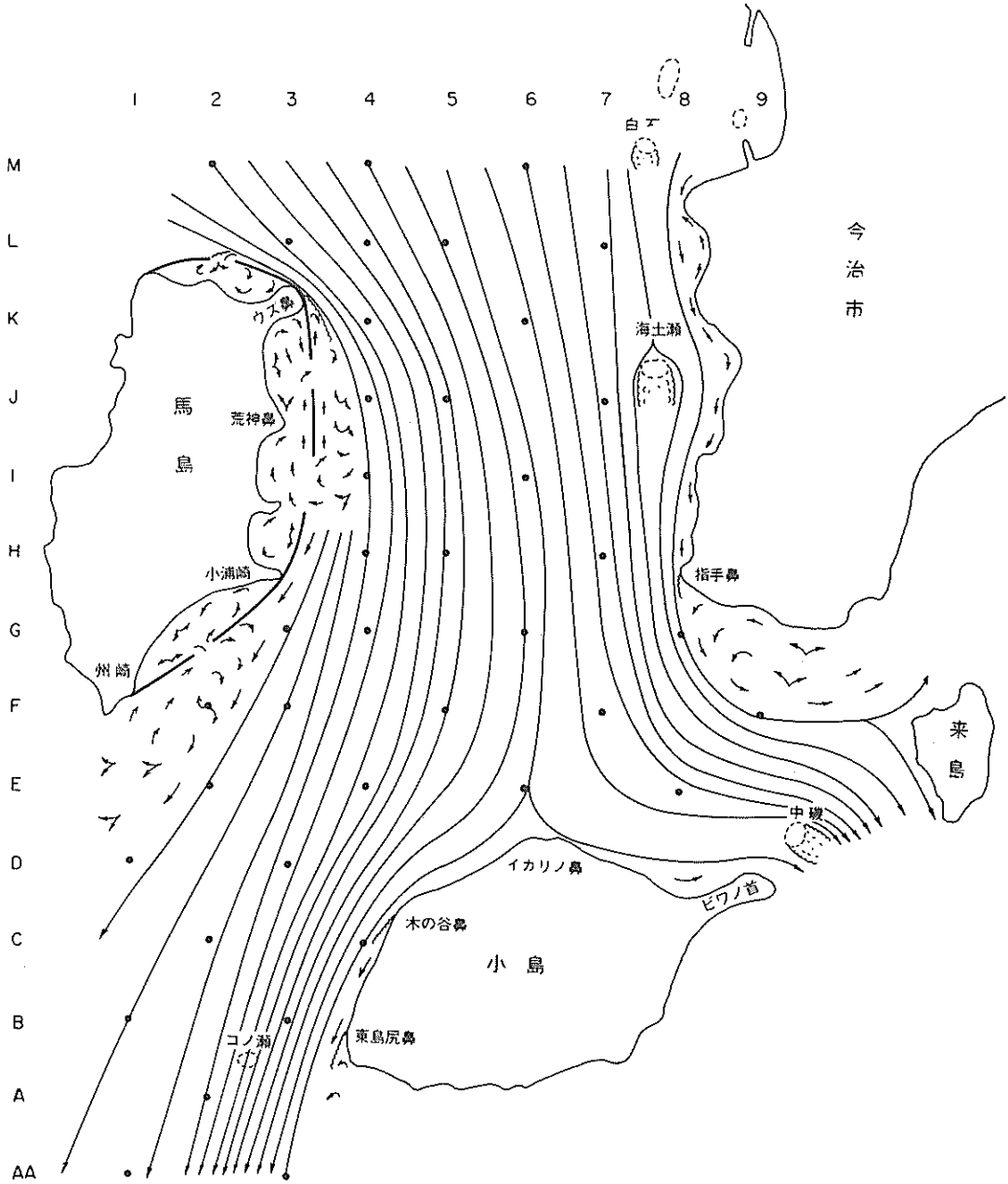


図-44 流線図 (case 3-1)





の流況パターンと相当の差が生じた結果であり、そのためウズ鼻より下流における岸側の 4 line で改良の効果がよく現われている。

地形改良にともなって大きく変化した地点 K-4 およ

び J-4 を例にとると、case 1, 2 にくらべそれぞれ約 1.5 倍、2.7 倍と増速している。ここで J-4 の場合は改良前が攪乱域内に位置していた関係から  $360^\circ$  の変動を示し、その流速が微弱であるためこのような差が現

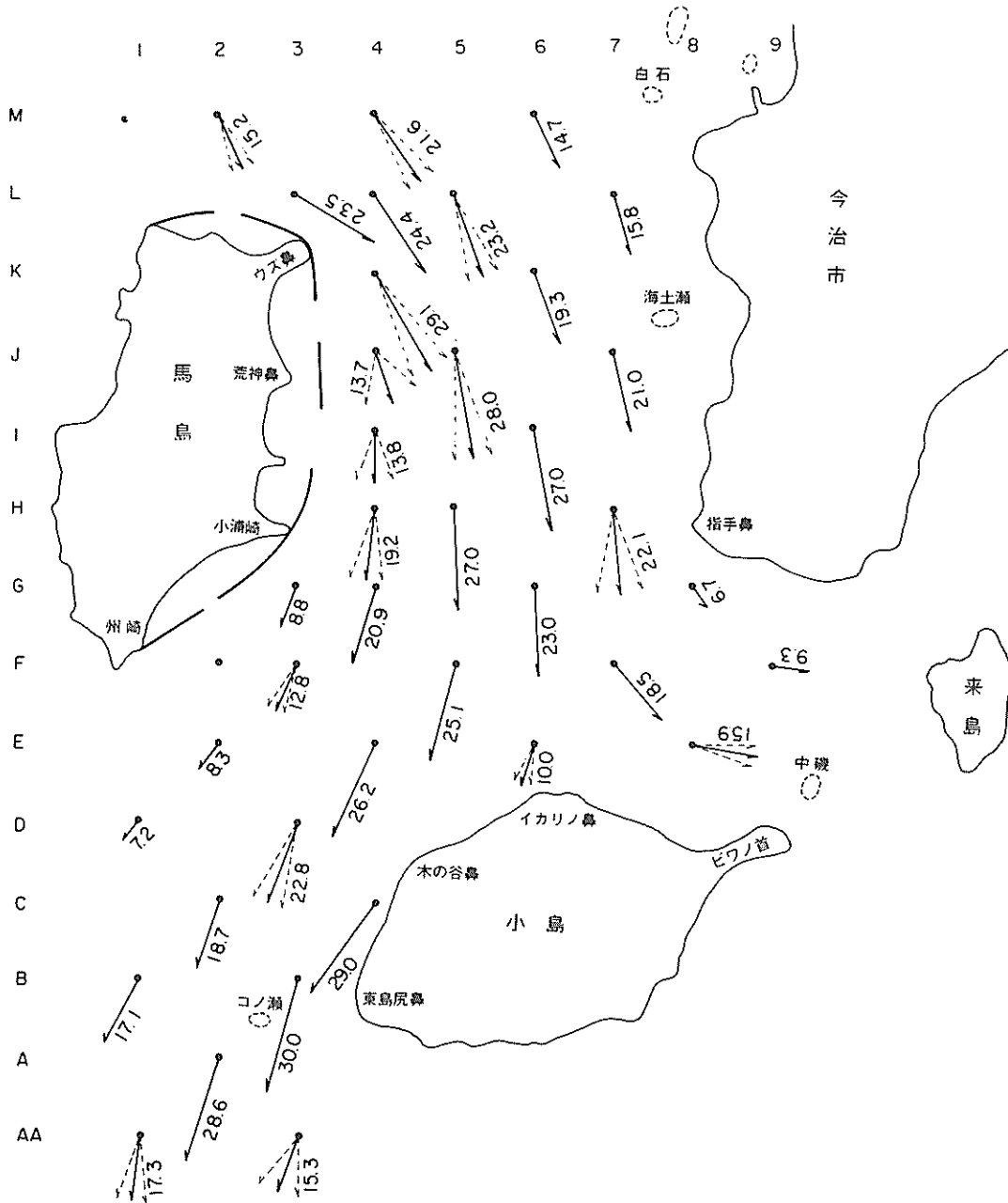


図-45-2 流速・流向ベクトル表示図 ( case 3-1 )

われたもので、この傾向は測定水深の各層においてほぼ一致している。さらに地形改良の影響は小浦崎を通過後の 3, 4 line にも現われており、これは上流水域の流況変化ならびに馬島西岸沿いに設けられた導流堤の効果

から、馬島御壁および海底の粗度の要素が小さくなったことが考えられよう。

次に 5 line の流速低下であるが、これは 4 line の増速を考え合せれば case 1, 2 よりも流れが岸よりに

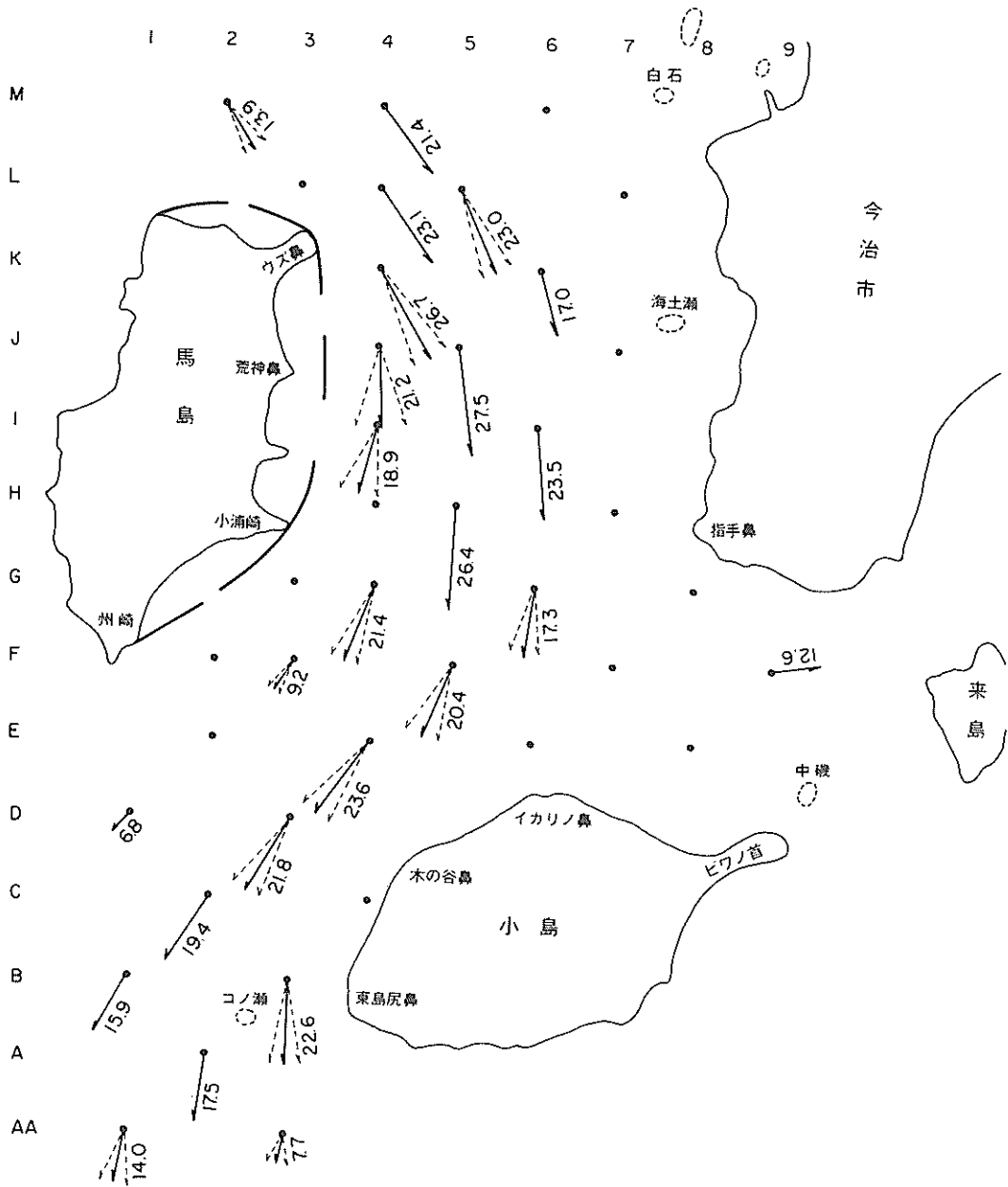


図-45-3 流速・流向ベクトル表示図 ( case 3-1 )

引き寄せられたためであり、このことは流向の分布からも容易に知ることができる。また他の水域での流況の変化は分布図からわかるようにそれほど明確でない。

(4) 流速鉛直分布

この測定は case 1, 2 と同じ位置で行ない図-46-1~6 に示した。なお、case 3-1 は下流のコノ瀬が改良された状態で測定している関係から case 2 と比較検討することにした。

L-5 の分布からは総体的に case 2 と似た性質であるが、測定水深 2~10 cm にかけて僅かに流速の低下がみられる。

J-5 の流速分布からは case 2 と異なり表層と底層の流速が小さくなって、ほぼ均一な分布で前測点と同じく流速も減少の傾向を示し、一方流向は底層付近に多少の差異がみられる程度で大体 case 2 と類似している。

H-5 においても表層より中層付近まで J-5 でみられた傾向が強く、これは部分的に行なった海底地形の改良が大きな要素であろうと推定される。

F-5, C-2, AA-1 の各測点においては、測定水深の各層で流速および流向分布が case 2 とほぼ同じような傾向を示しており、また前述のベクトル表示から判断してもこの付近では改良による効果はみられない。

Station J-5

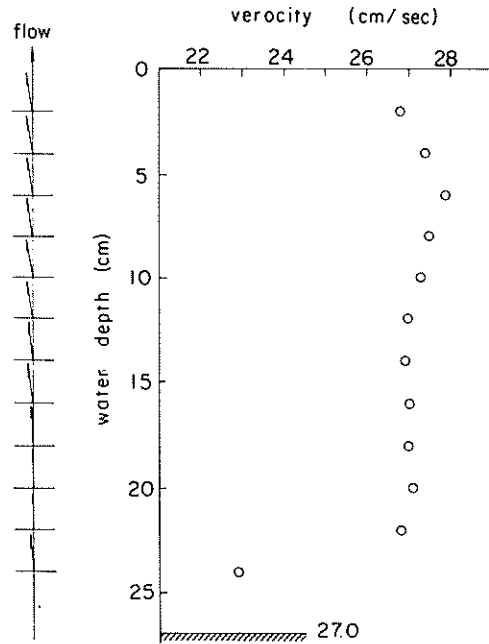


図-46-2 流速鉛直分布図 ( case 3-1 )

Station L-5

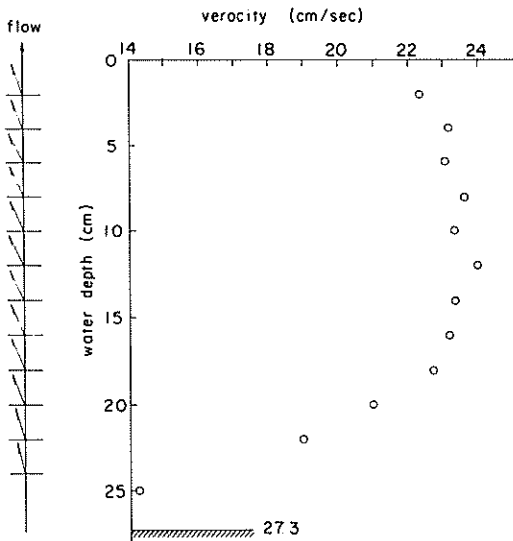


図-46-1 流速鉛直分布図 ( case 3-1 )

Station H-5

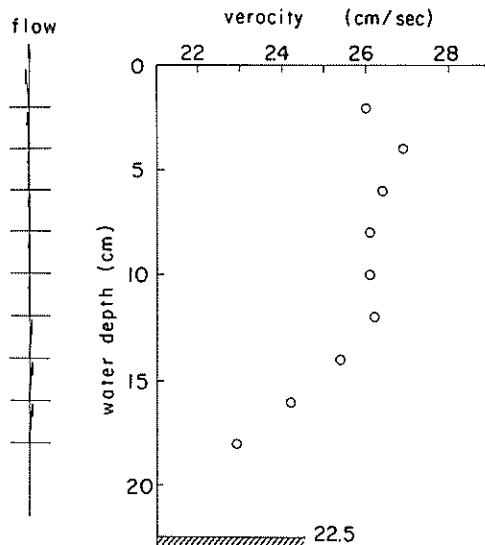


図-46-3 流速鉛直分布 ( case 3-1 )

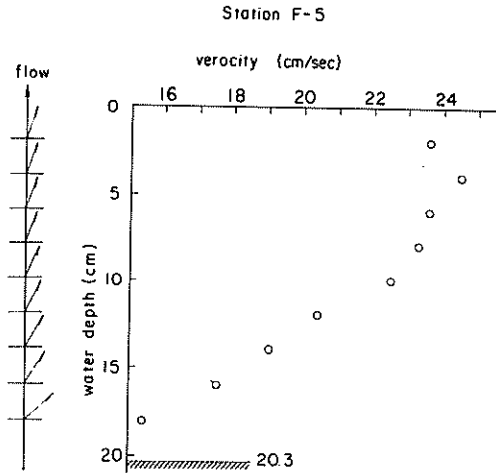


図-46-4 流速鉛直分布 ( case 3-1 )

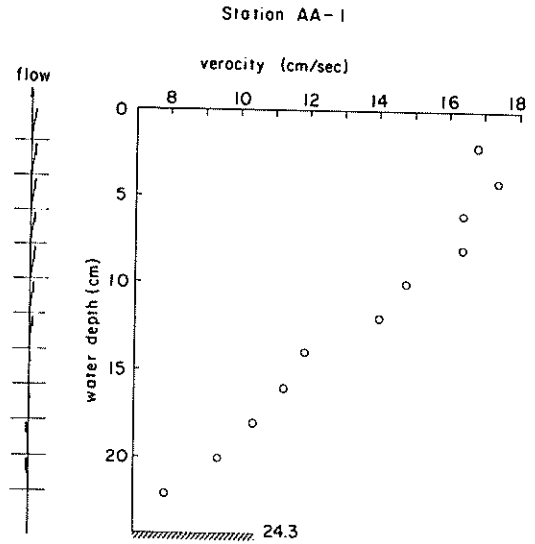


図-46-6 流速鉛直分布 ( case 3-1 )

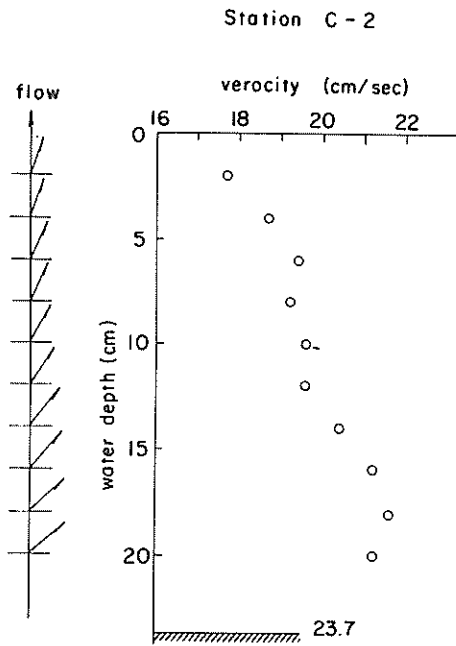


図-46-5 流速鉛直分布 ( case 3-1 )

(5) 馬島西岸の流況

馬島西岸を改良した場合の流れの性質を詳しく調べるため、前に述べているように西岸沿いの2~5 line 内を水深2, 4 cmで測定し、その結果を図-47-1~2に示している。

この case 3-1 では地形改良した効果が明確に現わ

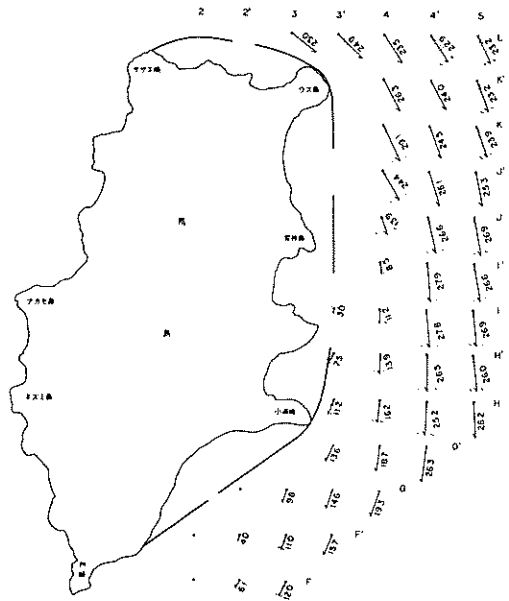


図-47-1 馬島西岸の流況 ( case 3-1 )



(7) Case 3-3 馬島西岸の流況

図-49-1~2から観察されるごとく、case 3-1 および case 3-2 にくらべこの導流堤の法線あるいは

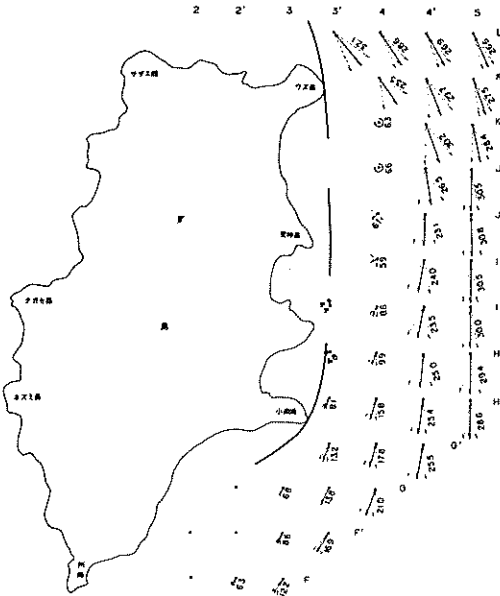


図-49-1 馬島西岸の流況 ( case 3-3 )

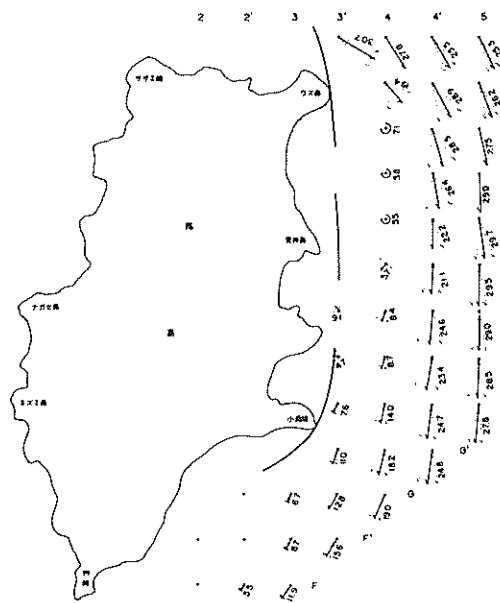


図-49-2 馬島西岸の流況 ( case 3-3 )

配置に問題があるように思われる。なぜなら 4 line 上の K, J', J 測点において乱れが激しく  $360^\circ$  の流向変動が現われており、この付近だけ地形改良前の case 2 よりもやや複雑な流況パターンを示しているからである。この要因は case 3-2 に述べているウズ鼻の改良 (平面的な形状) により、流れの性質が左右されるためと考えられる。

ここで参考までに南流時を例にとると、南流は小浦崎の導流堤が重要な役割を持っており、下流側のウズ鼻付近では流心が 4' line に位置していた関係から、ウズ鼻の導流堤が流れに与える影響は少ない。

8-4 Case 4 馬島西岸 Cut - 20m

この実験は南流時と同じく導流堤形式の構造物を用いないで馬島の沿岸付近から発生する渦流を防ぐため、岬の一部および沿岸の浅海部を改良したものである。(図 1-1~4, 写真-6 参照)

(1) 流線

図-50 に示した馬島西岸の 1 点鎖線より航路内で、海底水深を最低 -20m に保たれるように改良したが、図からわかるようにこの北流に対しては南方のウズ鼻が防波堤のような役割を果たすため、その下流水域の流況に及ぼす影響は大きい。したがってこの地形改良は、北流に関してはあまり期待できず、特にウズ鼻付近については大いに検討の余地がある。

改良地形により流線が変化したところを示せば、ウズ鼻から形成される後流と一般流が接する位置が case 1, 2 では K-4 地点に存在していたが、この case 4 では岸よりに移動すると共に攪乱域の幅が縮小され、その関係から下流水域の 3, 4 line に多少の変化がみられる。また馬島の沿岸付近一帯に弱い流れの逆流が生じている。

(2) 流速・流向ベクトル表示

水面下 2, 4, 12 cm の各水深におけるベクトル分布を図-51-1~3 に示す。

この case 4 においても case 3-1 とほぼ同じ地点に流速、流向の変化が現われている。たとえば 4 line の K-4 で測定水深 2, 4 cm における平均流速が case 2 にくらべ約 1.7 倍の増速を示し、そのすぐ下流側の J-4 では測定水深の各層の流向が、case 2 において  $360^\circ$  と過大な値をみせていたが、地形を改良した結果は約  $90^\circ$  となり  $1/3$  に減少される。さらに改良による影響が 5 line に現われ case 2 よりも僅かに流速が低下しており、この要因は case 3-1 で述べたように 4 line の流速が増加されることと、密接な関係を持っているものと推定される。その他の対象水域内の流況は総合的に

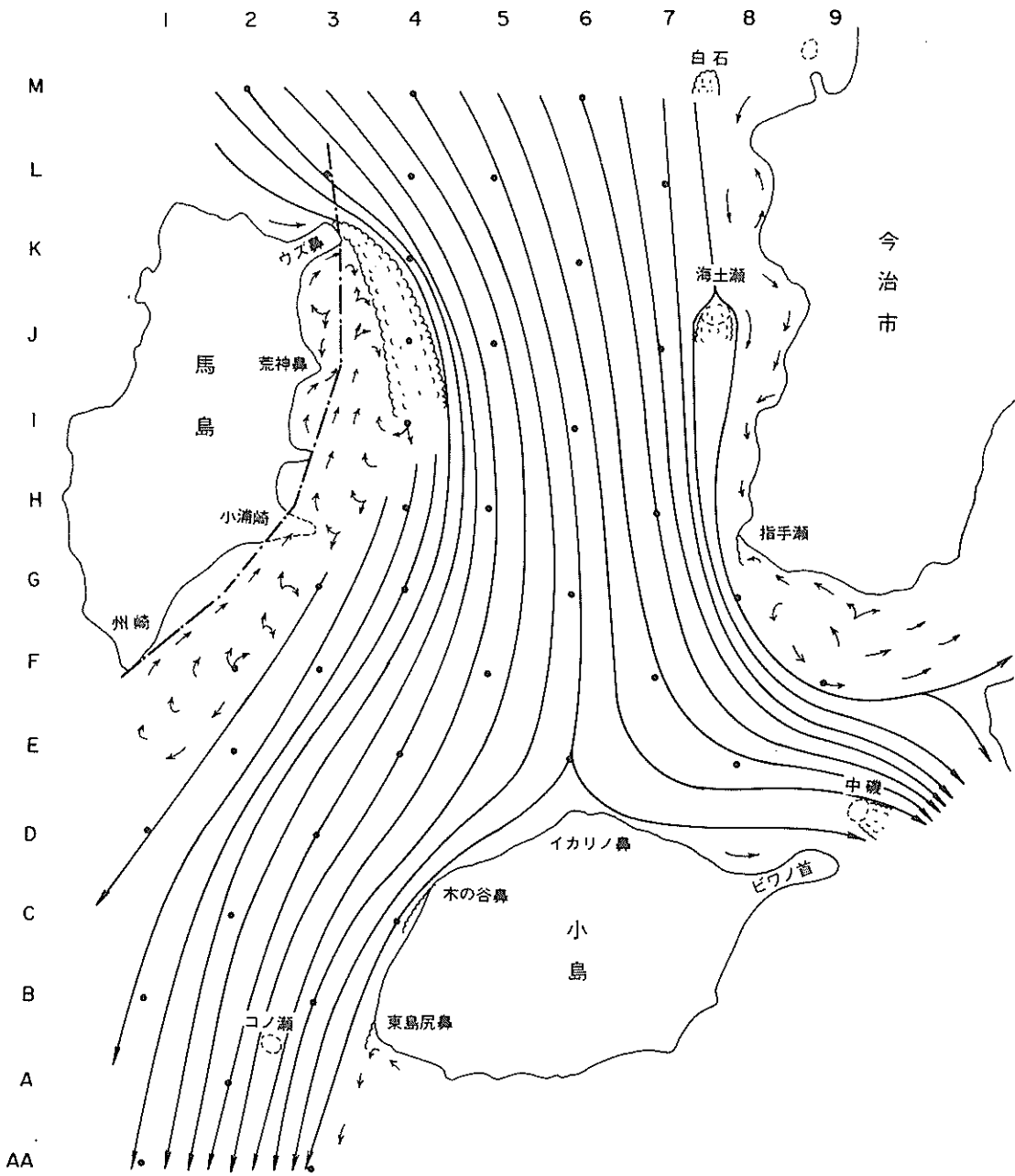


図-50 流線図 (case 4)



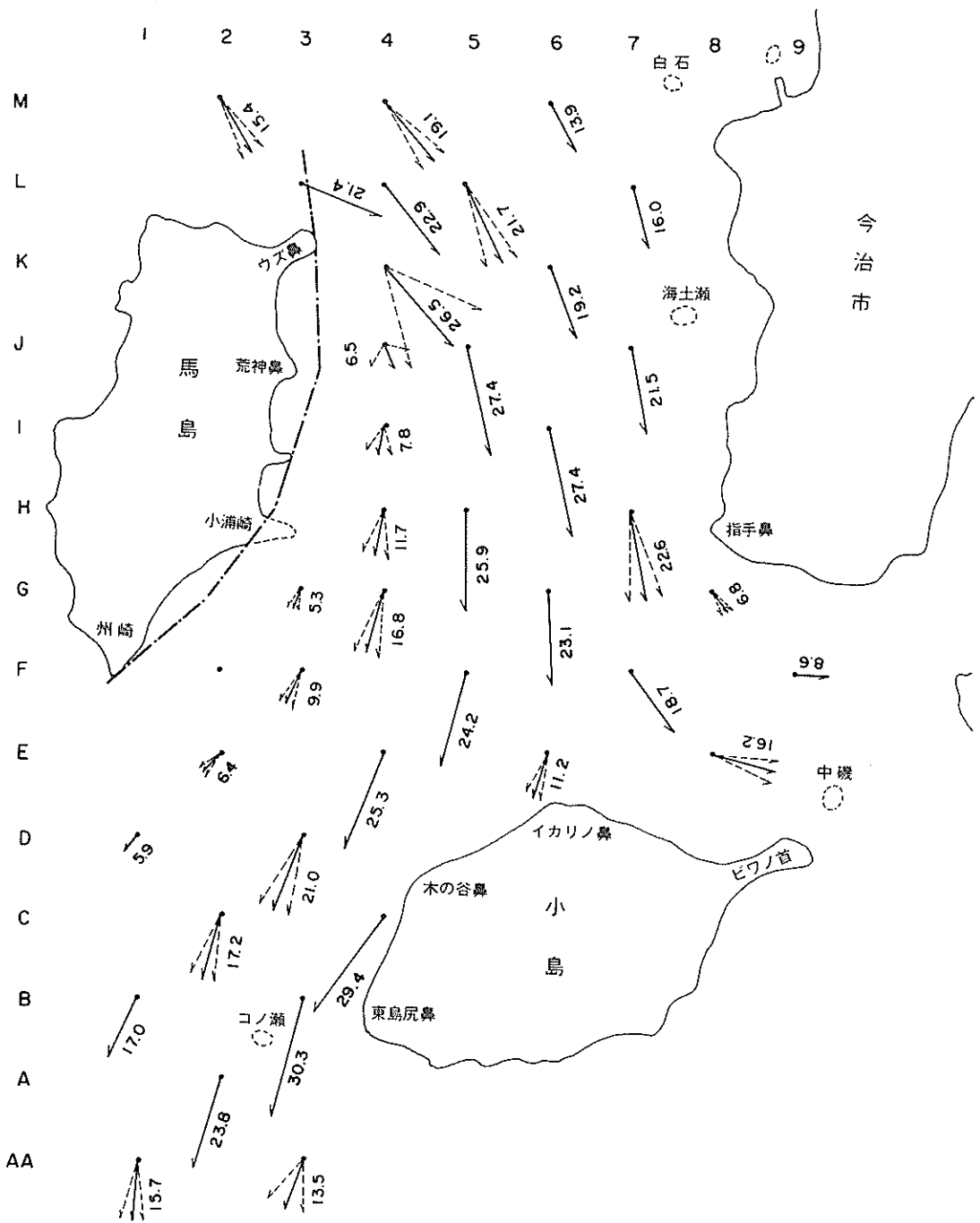


図-51-1 流速・流向ベクトル表示図 (case 4)

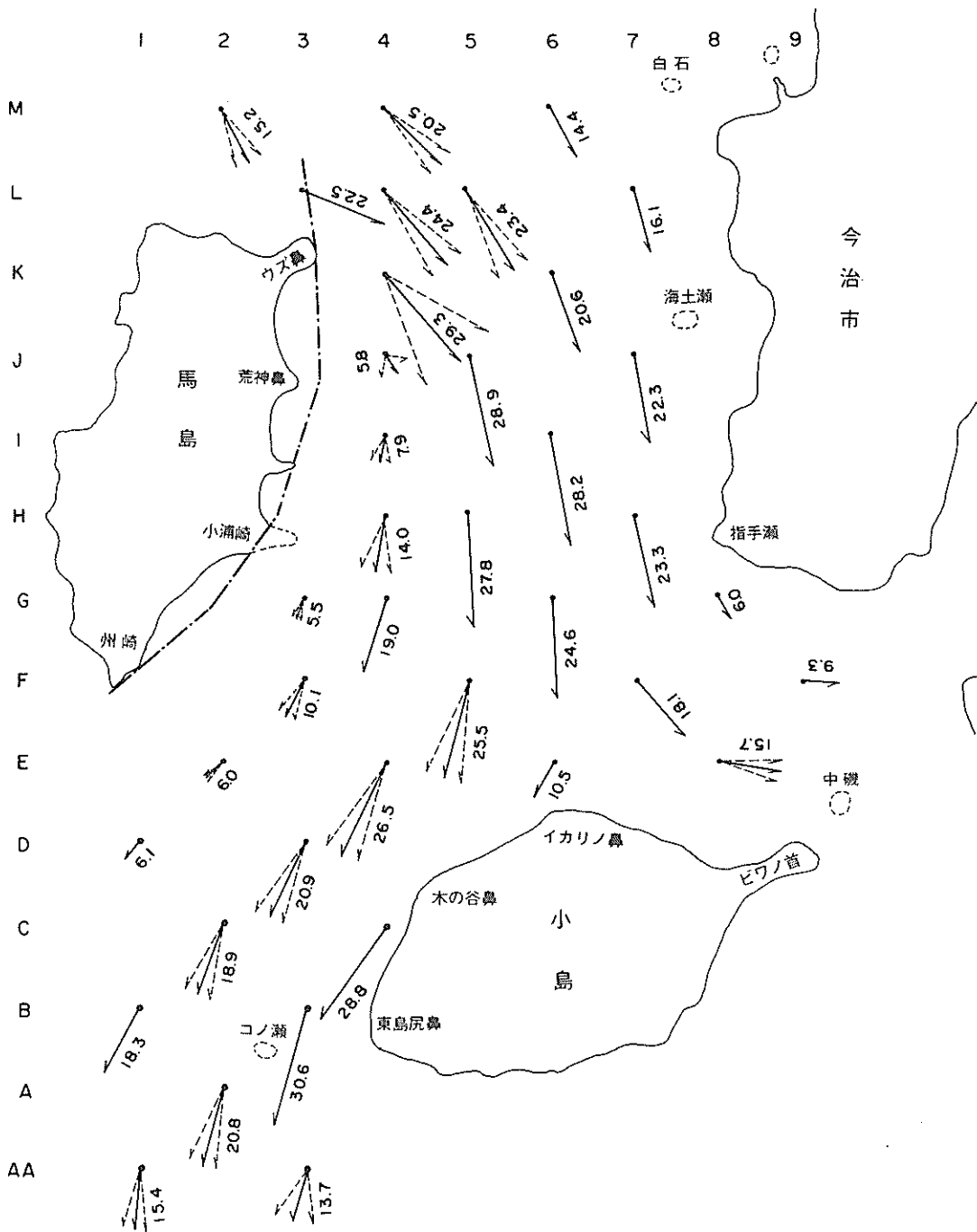


図-51-2 流速・流向ベクトル表示図 (case 4)

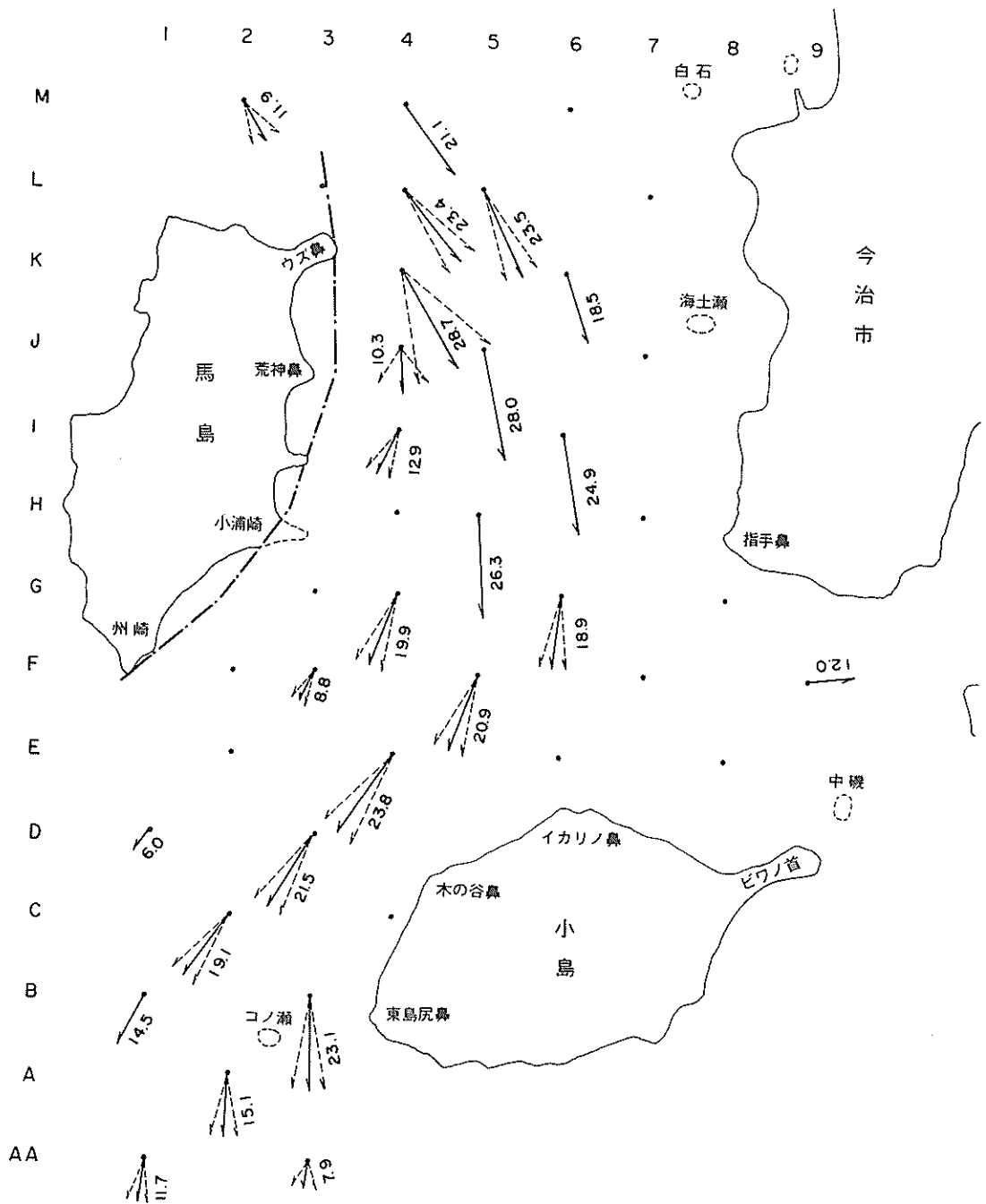


図-51-3 流速・流向ベクトル表示図(case 4)

case 2 と似た傾向を示している。

### (3) 流速鉛直分布

この測定は一連の実験 case と同じ位置で、改良による航路内の鉛直方向の流れの変化を検討するものでその結果を図-52-1~6に示している

まず上流のL-5測点では、水深各層の分布から総体的な傾向としてほぼ case 3-1 と似た性質をなしている。

次にJ-5の分布からは表層付近 ( $h = 2 \sim 8 \text{ cm}$ ) の流速が各々の case より変化していることがわかる。たとえば、 $\text{case 2} < \text{case 3-1}$  となるがこれはウズ鼻付近の改良地形の形状による影響が最も大きいものと考えられる。すなわち、掘削面の水深  $2.0 \text{ m}$  は模型に換算すると  $8 \text{ cm}$  となり、以上の数値からもこの付近における海底形状の急変によってこのような現象が生じたものと思われる。また分布は case 2 にちかく、case 3-1 での導流堤が流れに及ぼす影響がいかに大きいかわかる。

H-5, F-5 の両測線では、上流のJ-5ほどの違いはないがやはり表層付近で同じような傾向が現われている。

C-2, AA-1 の下流地点においては、改良地形による影響はなく流速、流向分布とも case 2 と似た性質を呈している。

Station J-5

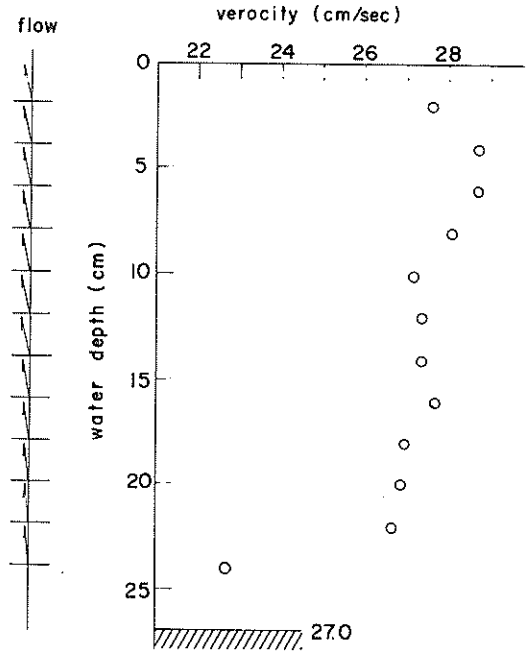


図-52-2 流速鉛直分布図 (case 4)

Station L-5

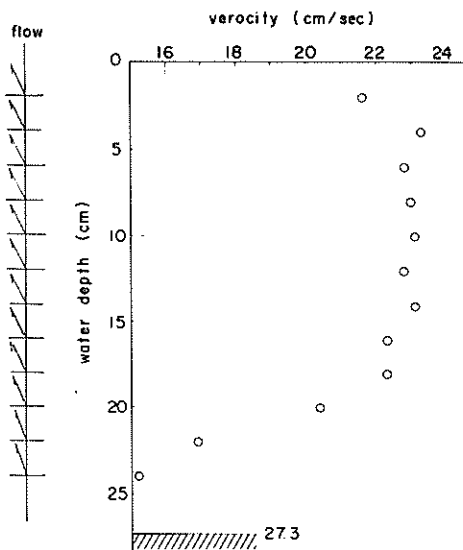


図-52-1 流速鉛直分布図 (case 4)

Station H-5

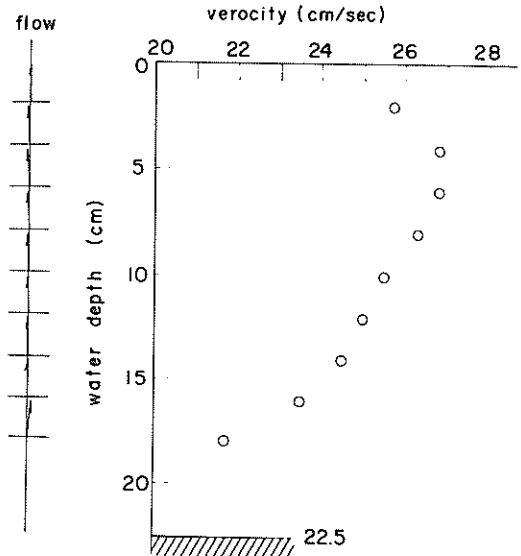


図-52-3 流速鉛直分布図 (case 4)

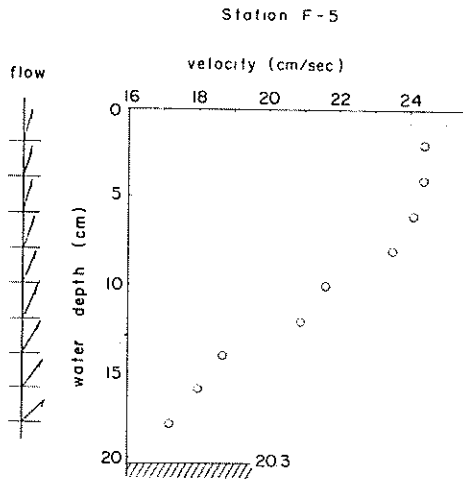


図-52-4 流速鉛直分布図 (case 4)

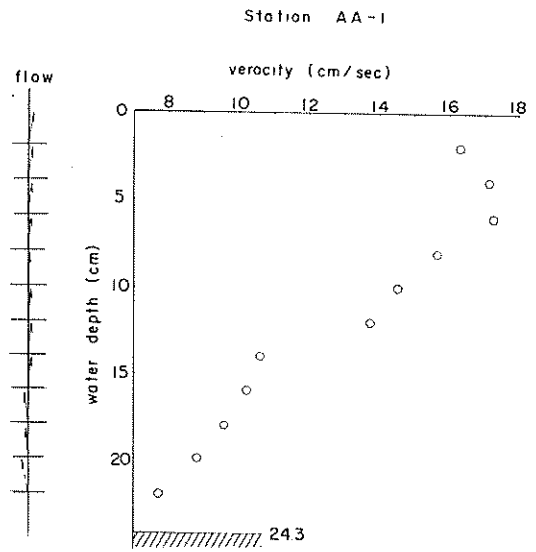


図-52-6 流速鉛直分布図 (case 4)

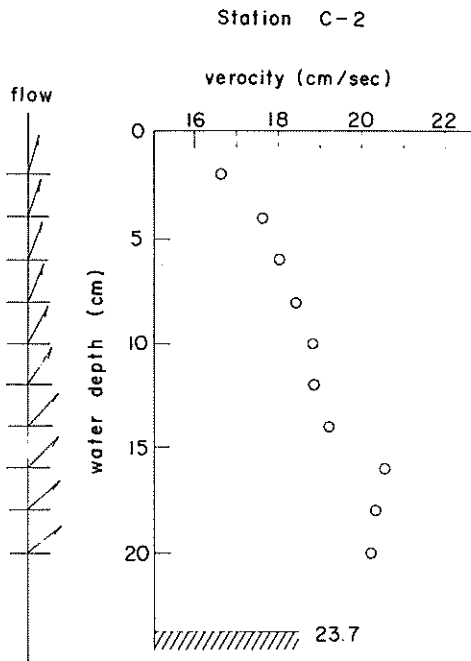


図-52-5 流速鉛直分布図 (case 4)

#### (4) 馬島西岸の流況

この実験では図-53-1~2に示すごとく、導流堤を設けた場合よりさらに法線を島側に寄せた関係から、計測 line 3'でK'~I'の5測点を加えて測定した。

まずK'-3'における測定水深の平均から31.8cm/sec (502cm/sec)の最大流速が現われている。これは前に述べたように北流時においてウズ鼻付近に流れが集中することと、さらに地形改良によって海底粗度の減少にもなり必然的な結果であろう。K'-3'ではウズ鼻からの後流がこの測点に接しているため、不規則な流況で360°の変動を示すが、この付近の流速はかなり弱く目測からも緩やかな変動がみられた。J'-3', J-3', I'-3'の各測点においては、模型範囲外の流入域の流線から判断してもウズ鼻の背後にあたり、このためにウズ鼻をまわる流れが剝離されて主流との間に不連続な流れが生じている。したがって、ウズ鼻の背後域には図示のような複雑で弱い反流が現われる。なお、馬島西岸を改良した場合のcase別の比較については、後述する第9章で流速、流向を無次元表示して説明する。

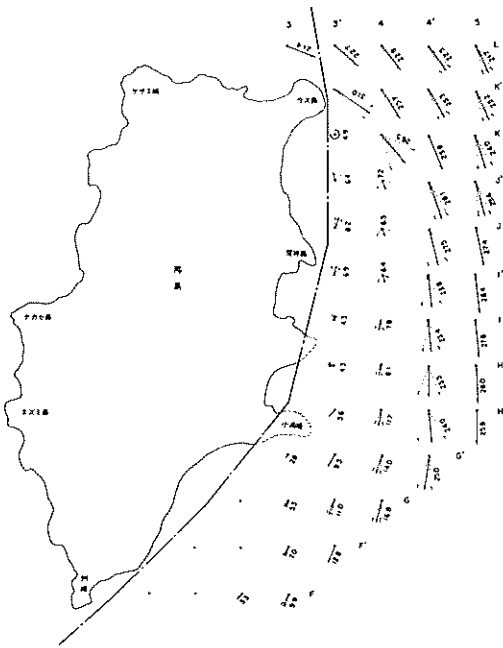


図-53-1 馬島西岸の流況 (case 4)

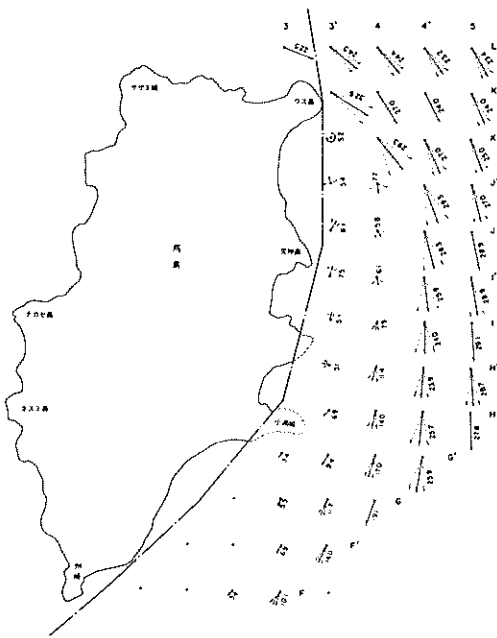


図-53-2 馬島西岸の流況 (case 4)

### 8-5 追加実験 (コノ瀬 cut - 2.5 m, -3.0 m)

この実験は case 2 で行なった掘削水深 - 2.0 m においても若干流れに不規則性がみられたことから、さらに増深した場合の流れの性質とその変化を調べることに主眼を置き測定した。

#### (1) コノ瀬 cut - 2.5 m

測定する位置の選定については、改良地形による影響が最も大きいと考えられるコノ瀬下流の A, AA', AA'' 測線 (図-37 参照) を選び図-54-1~8 に示している。

A 測線における  $h = 2.6 \text{ cm}$  の  $u, v$  成分は case 2 にくらべ直線的な分布を示し、流線が平行で右寄りであることを表わしている。特に  $v$  成分が著しく変って一様分布を示すことは、不規則な流れが消えて整流されたことを意味している。また  $h = 8, 1.0 \text{ cm}$  では case 2 (図-42-4 参照) の  $u$  成分に特殊な分布をみせていたが、増深によって流れに直角な断面内の流速分布の平均化が進んだものと考えられる。したがって、 $v$  成分にもこの影響が現われ図から観察されるごとくほぼ一様な値を示す。

AA' 測線では総体的な傾向として上流の A 測線と似た現象を示すが A 測線ほどの効果にはいたらず、 $h = 1.2 \text{ cm}$  においては多少の変化はみられるがほぼ case 2 と同じ様相を示している。

AA'' 測線は改良部からの距離が遠くなり、また掘削水深が  $2 \text{ cm}$  (5 m) と小さくなったためこの付近に及ぼす影響は少ない。

以上の結果よりこの地形改良による流れの変化を把握するならば、各測線での傾向から判断して表層から中層までは効果的と思われるが、底層付近ではコノ瀬の形状がまだ残っていることからあまり期待できない。

#### (2) コノ瀬 cut - 3.0 m

この実験は前述の cut - 2.5 m でも各測線の底層付近に僅かな乱れが現われるため、さらにコノ瀬の地形を - 5 m 増深した場合であり、改良による流れの性質およびその変化について図-55-1~8 に示した。

各測線の  $u, v$  成分の分布図から地形を改良した場合の流速および流向の変化は明らかであり、また水深各層で cut - 2.5 m と比較した場合、水平面内の流速分布の平均化が進み整流された効果は顕著である。

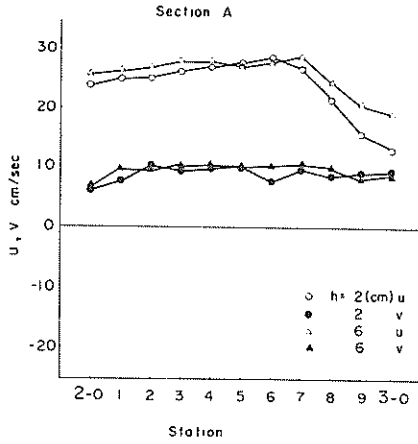


図-54-1 u, v 成分 (コノ瀬-2.5 m)

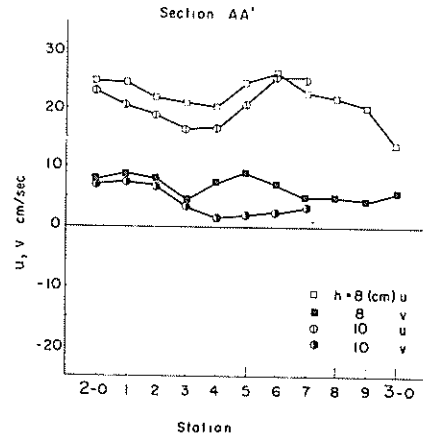


図-54-4 u, v 成分 (コノ瀬-2.5 m)

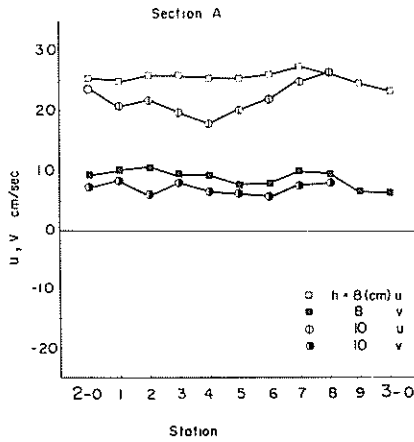


図-54-2 u, v 成分 (コノ瀬-2.5 m)

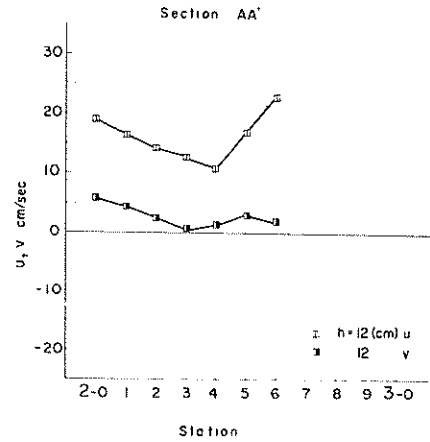


図-54-5 u, v 成分 (コノ瀬-2.5 m)

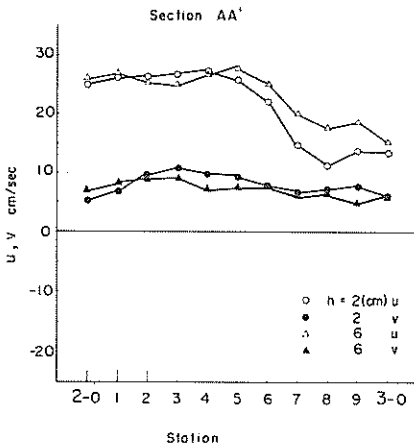


図-54-3 u, v 成分 (コノ瀬-2.5 m)

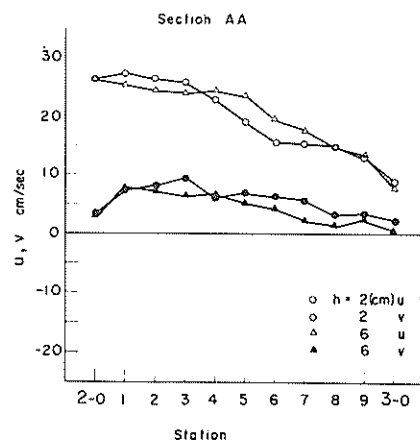


図-54-6 u, v 成分 (コノ瀬-2.5 m)

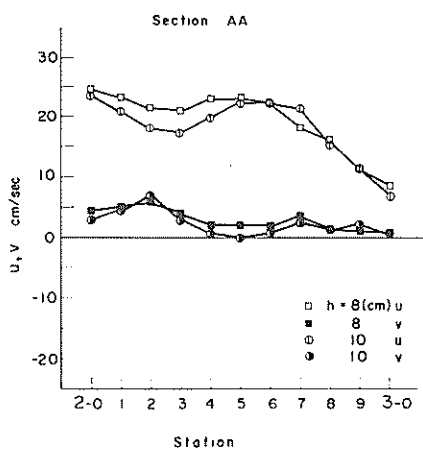


図-54-7 u, v成分(コノ瀬-2.5m)

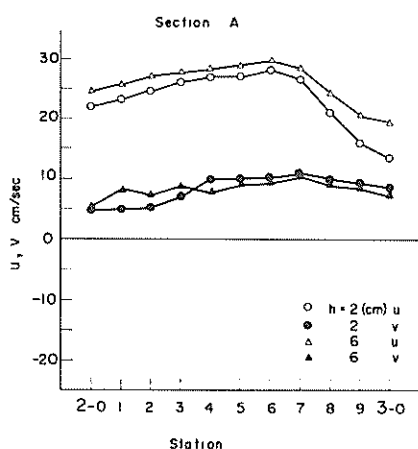


図-55-1 u, v成分(コノ瀬-3.0m)

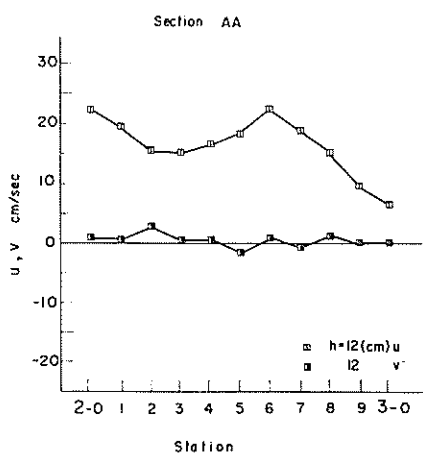


図-54-8 u, v成分(コノ瀬-2.5m)

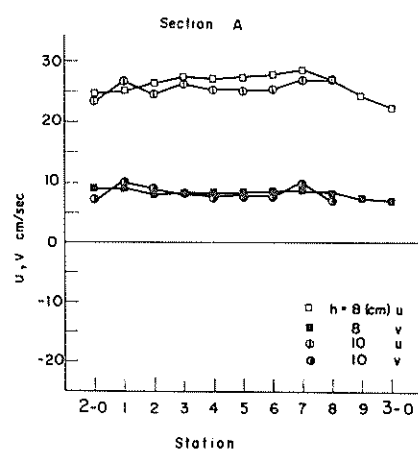


図-55-2 u, v成分(コノ瀬-3.0m)

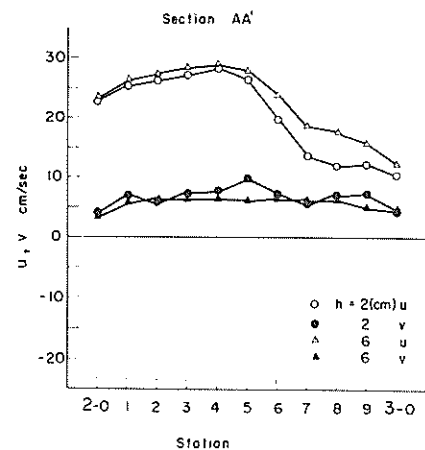


図-55-3 u, v成分(コノ瀬-3.0)



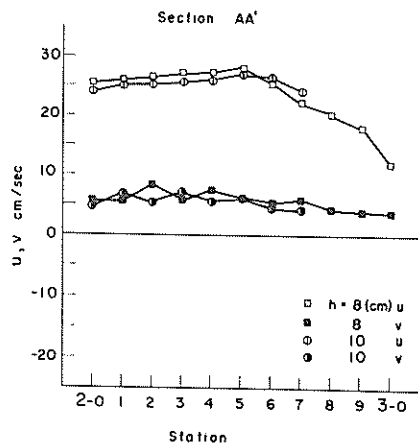


図-55-4 u, v成分(コノ瀬-30m)

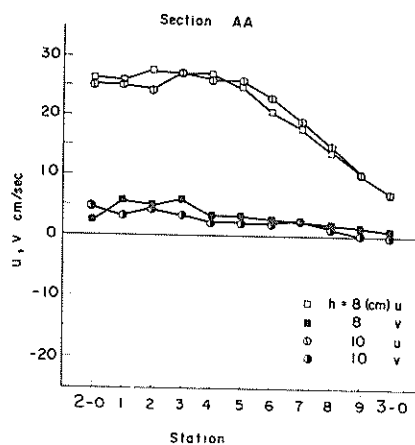


図-55-7 u, v成分(コノ瀬-30m)

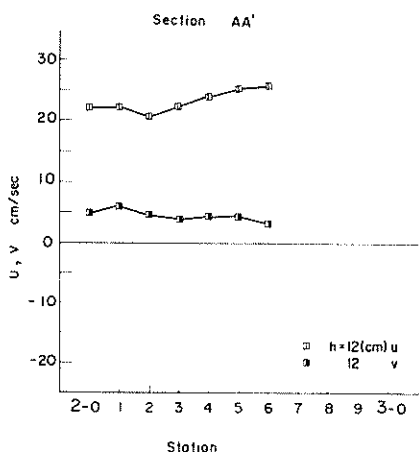


図-55-5 u, v成分(コノ瀬-30m)

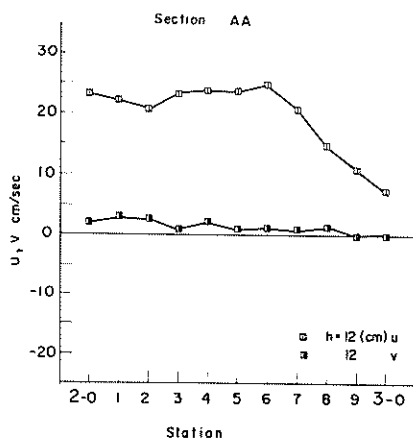


図-55-8 u, v成分(コノ瀬-30m)

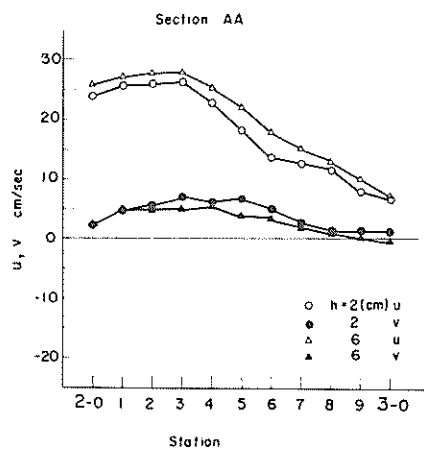


図-55-6 u, v成分(コノ瀬-30m)

## 9. 実験結果の考察

以上の実験から渦流緩和対策の一環として地形の改良を施した場合の、西水道における潮流変化の状況を知ることができた。そこで渦流を減少させる方法としてすでに述べたような種々の地形改良を試みた結果、その工法によって水理条件は変化することがわかった。この模型実験から得られた結果より、流速および流向の変化をそれぞれ case 別に検討すれば次のごとくである。

### (1) 流速変化について

南流実験と同じ測点について地形改良後の流速変化を図-56-1~7に示した。なお、地形の改良前後についての流速の比較は第6章で述べているように case 2 を基準として無次元表示した。

K測線はウズ鼻付近に位置しているため地形改良による流れの変化が著しく、特にK-4で case 3-3 以外は約1.7倍の増速を示す。そこで case 3-3 の流速が減少される要因としては、ウズ鼻導流堤の配置による影響が最も大きく、導流堤の先端より形成される後流の領域に入っているためであり、後流域の流れは非常に複雑な様相を示している(図-49参照)。また、K-4', 5における流速は case 2 に対し多少の増減がみられる程度であり、地形を改良した効果はほとんどみられない。

次にJ'測線においては、J'-4で地形改良の形状による流れの変化が明確に現われている。上流側の地形改良が下流水域の流れに及ぼす影響の大きいことは前にも述べたが、特に case 3-1 および3-2はウズ鼻の導流堤が同じであり、この導流堤を設けたことにより、乱流域が整流され流速が増加することは注意すべきであろう。一方、case 3-3 およびcase 4は、地形改良の工法は異なるがウズ鼻付近から発生する後流のパターンは似

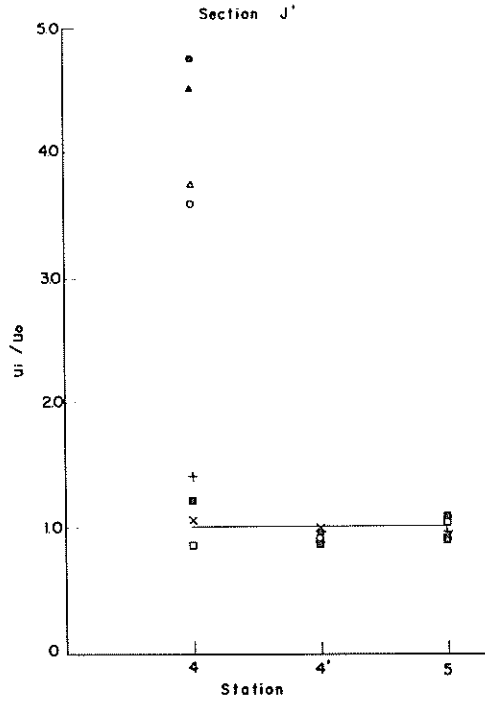


図-56-2 case別の流速比

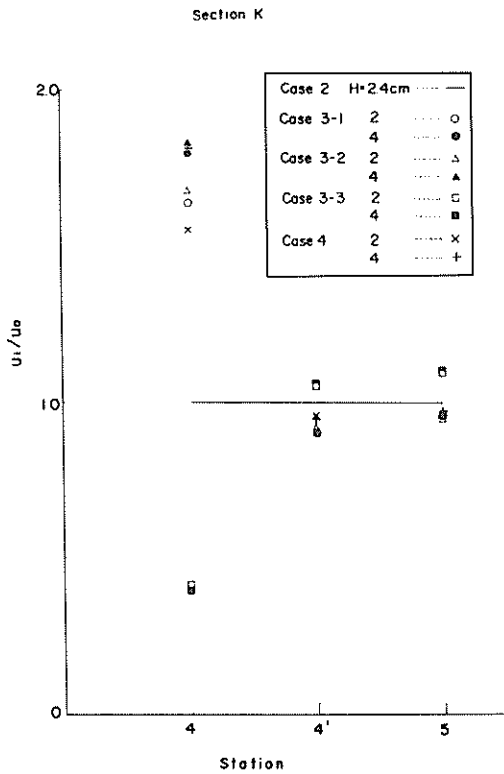


図-56-1 case別の流速比

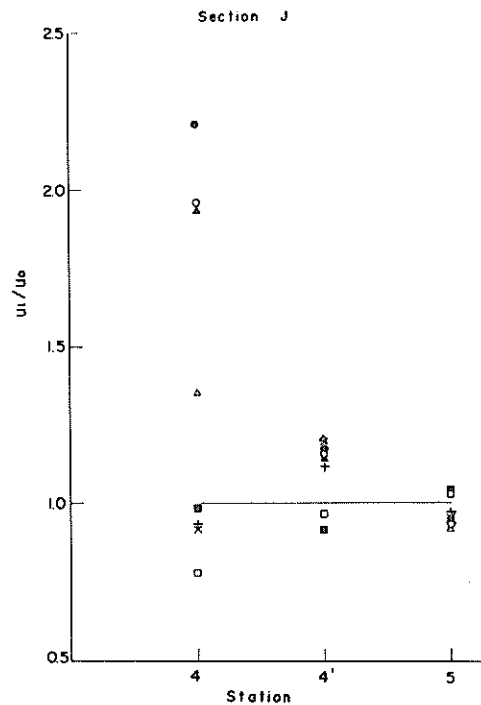


図-56-3 case別の流速比

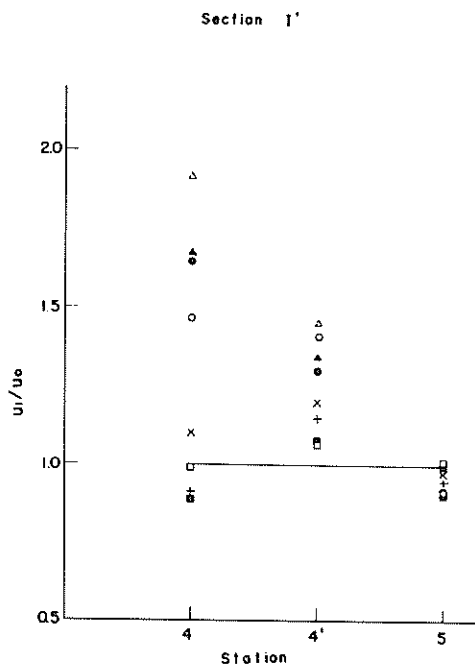


図-58-4 case 別の流速比

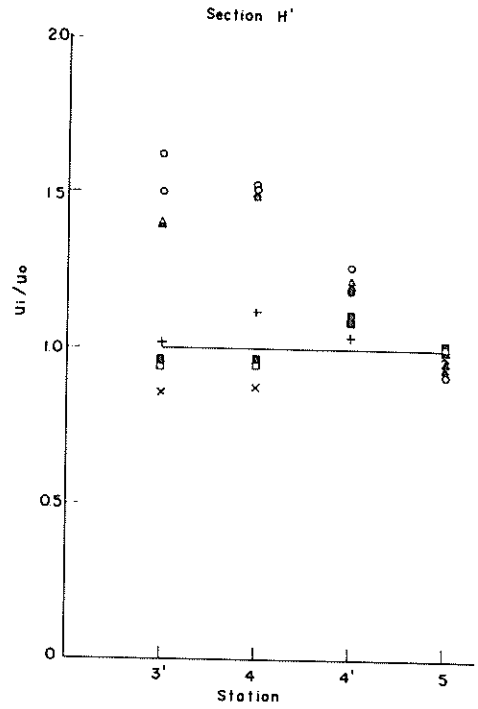


図-56-6 case 別の流速比

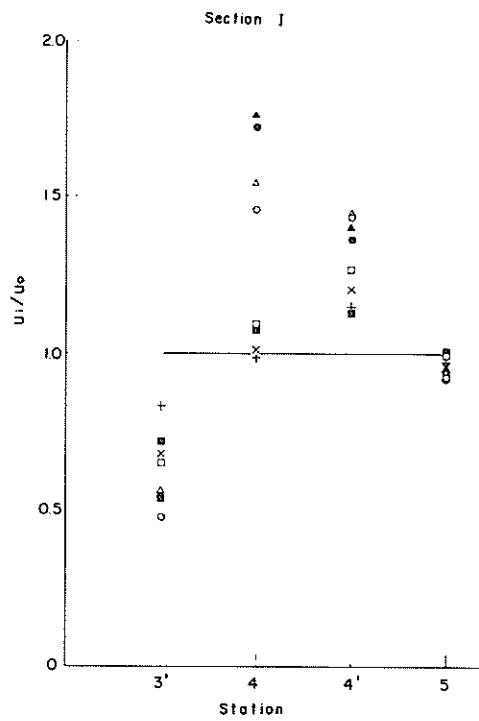


図-56-5 case 別の流速比

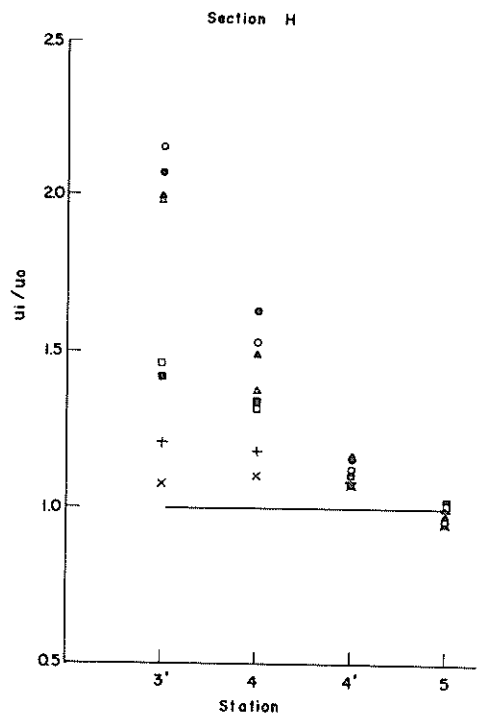


図-56-7 case 別の流速比

た傾向を示しており、このことは流速比の分布からも容易に知ることができる。

J測線では上流のJ'測線とほぼ似た性質を示すが、J-4で case 3-1 および case 3-2 における流速増加はJ'測線にくらべほぼ半減する。これは流線の変化によるものでJ-4が若干増速されていることから判断できる。

I'測線においては前測線の傾向がさらに明瞭になり、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。

I測線は case 2 と比較して岸よりのI-3が減速しており、その他の case では増速の傾向を示している。ここで留意しなければならないことは地形改良、特に導流堤を施した場合、この測点が法線上あるいは導流堤の間隙に位置しているため、各々の case における流れが弱い反流であるがきわめて複雑な流況を示す結果となることである。また、I-4、4'、5では前測線の傾向とほぼ同じである。

さらにH'、H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ている。これは馬島沿岸が増深されたことによるもので、case 2にくらべ沖方の5 line を除きほとんどが増速されている。この結果流れに直角な断面内の流速分布において、岸よりと沖方の流速差が改良によって僅かであるが小さくなってきている。

## (2) 流向変化について

地形改良前後の各 case 1 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を図-57-1~7に示した。

K測線では流速変化で述べたようにK-4の case 3-3が他の case とまったく逆の現象を示し、そして流向においてもやはり同じ傾向で case 2 に対して変動比 5.1 と増大する。しかし、その他の case はすべて減少されており、これは流速の増加にともない整流されたためである。K-4'~5の流れはウズ鼻を流下した直後で加速の著しい場所であることから、その影響が分布に現われ同じ測点で変動の増減が出現する。

J'、J、I'の各測線においては、地形を改良した効果が最も大きく現われた水域である。特に4 line では、地形改良前は後流域(図-43参照)であることから変動が大きかったが、改良後は乱流域が消え変動も大幅に減少される。ただし、case 3-3は前述したウズ鼻付近から発生する後流の領域に入っているため、多少の差異はあるが case 2 とほぼ同じである。J-5では変動比 1.5~2.5 と増大しているが、これは case 2 の測定に

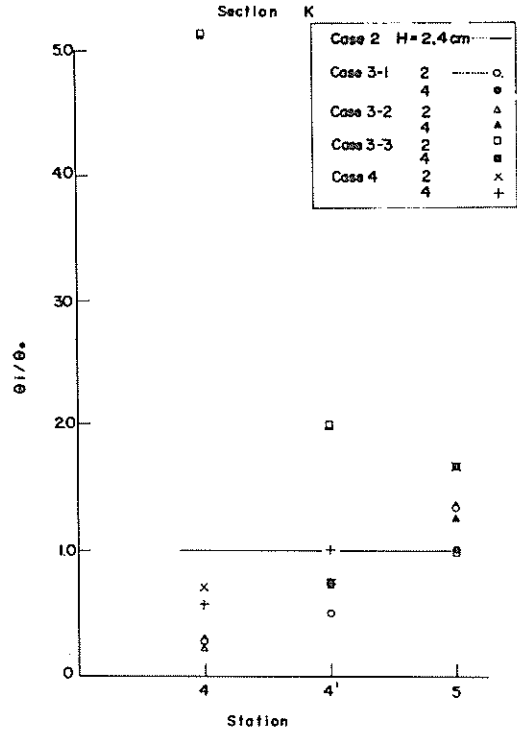


図-57-1 case 別の流向変動比

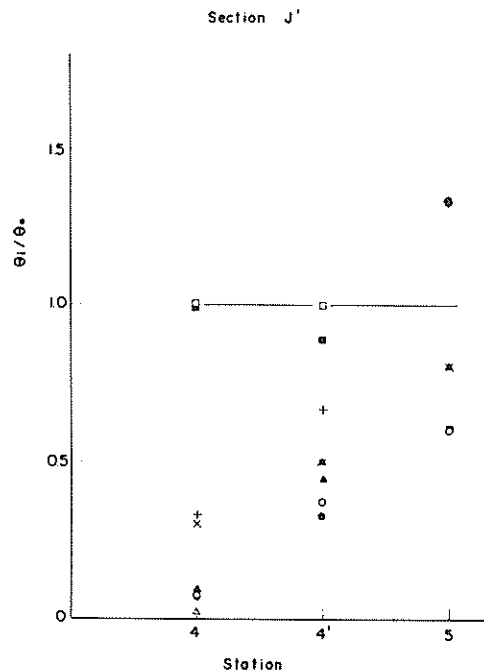


図-57-2 case 別の流向変動比

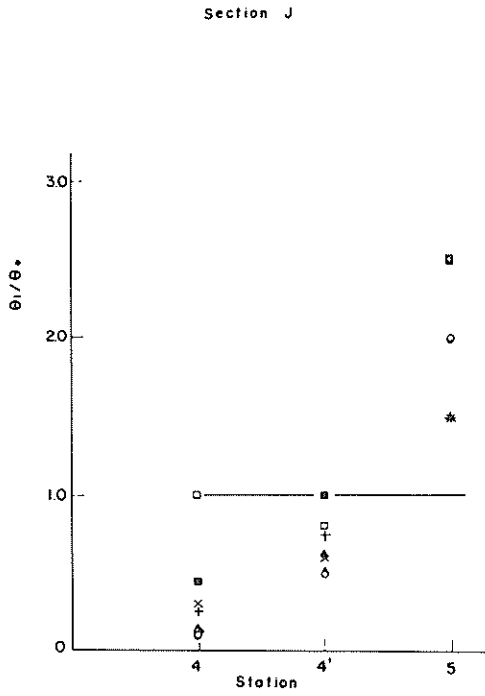


図-57-3 case別の流向変動比

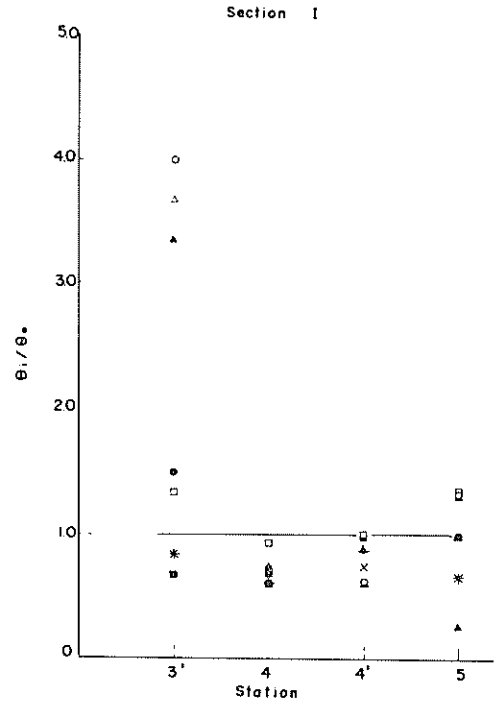


図-57-5 case別の流向変動比

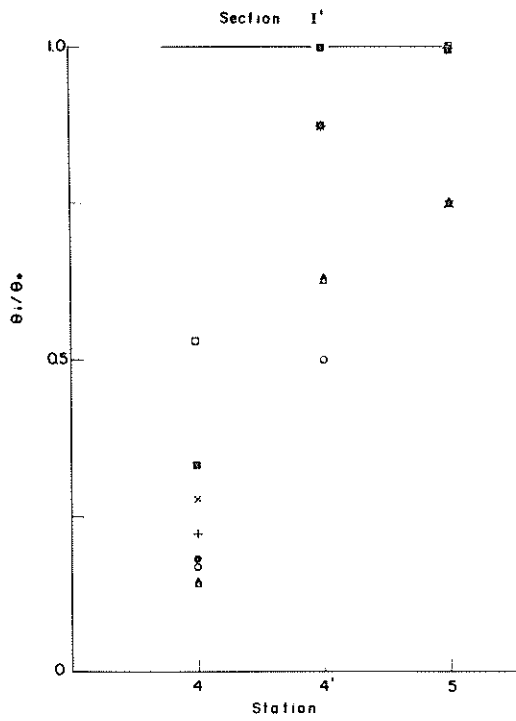


図-57-4 case別の流向変動比

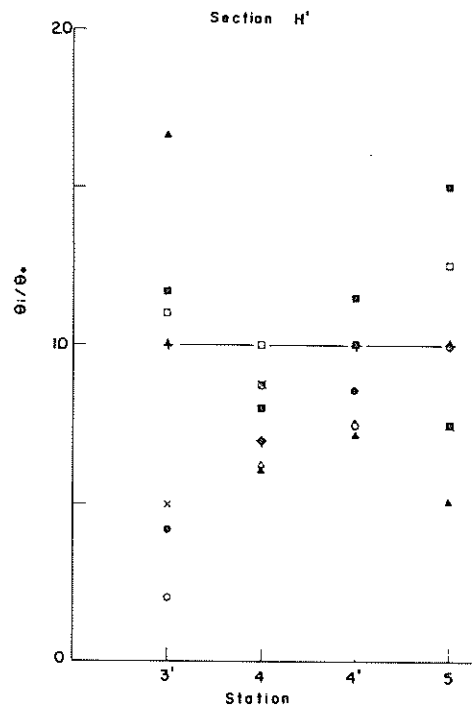


図-57-6 case別の流向変動比

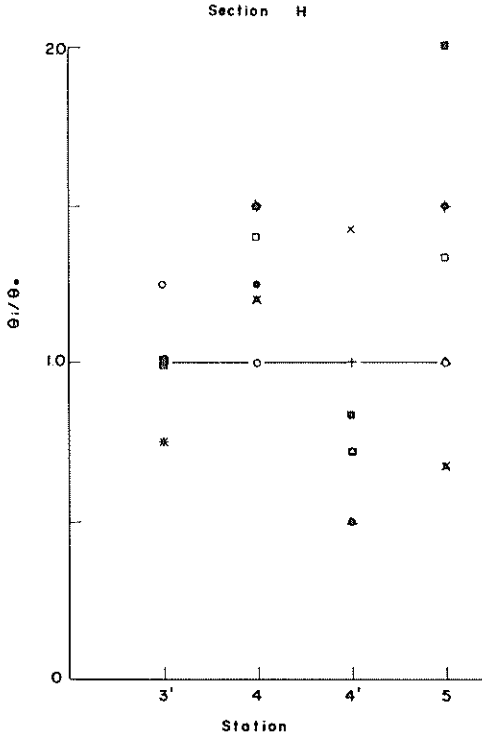


図-57-7 case別の流向変動比

において変動(約 $10^\circ$ )が非常に小さかったためであり、この変動量が特に大きい分けではない。

I測線における岸よりのI-3'で特にcase 3-1および3-2の変動が大きくなっているのは、流速変化で述べたように導流堤の間隙に位置しているため、その流速が問題にならぬほど微弱で複雑な流況を示しているからである。その他の測点では減少の傾向を呈しており、地形を改良した効果は明確である。

HおよびHの両測線は、この付近の流況が上流の地形によって決定づけられることから、地形改良後もその影響のために流向の変動量に増減がみられ、地形改良の効果はあまり期待できない。

(3) 乱れについて

コノ瀬の浅海部を掘削した場合の渦流状況(減少傾向)を調べるため、前述の第8章における追加実験と同じ断面について現況時および地形改良後の乱れを測定した。流れに直角な断面内の流向幅を変動量にとり、測定水深の各層と比較したものを図-58-1~14に示した。

まずA測線から述べると、図から明らかなように現況ではA-2-0から2-5の間で不規則(水深によって流向も異なる)でかつ激しい乱れが生じていたが、地形

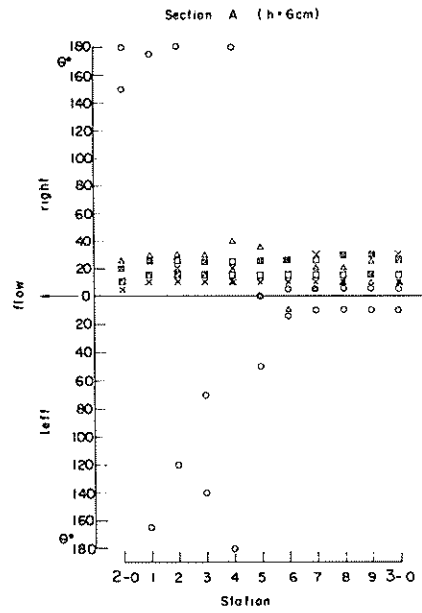


図-58-1 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

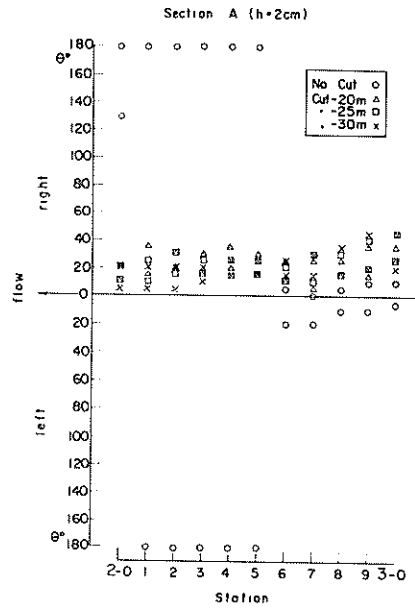


図-58-2 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

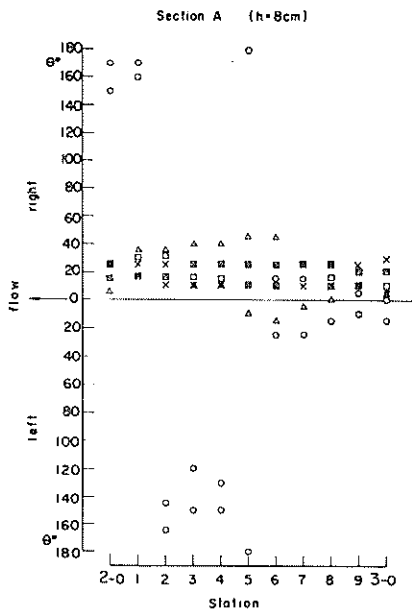


図-58-3 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

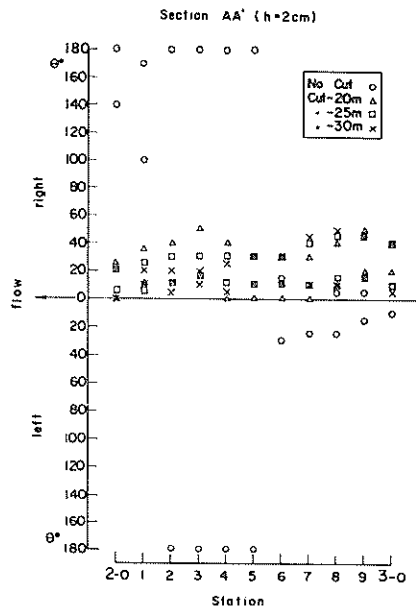


図-58-5 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

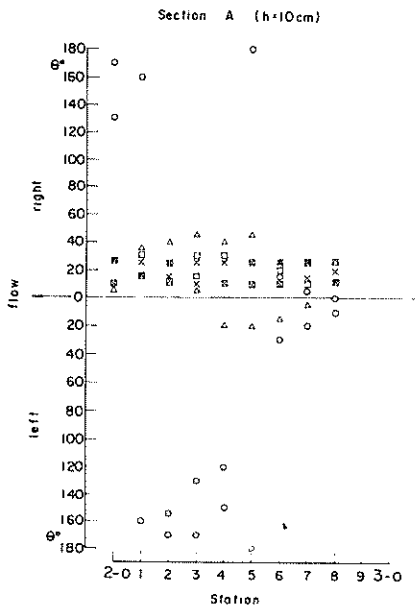


図-58-4 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

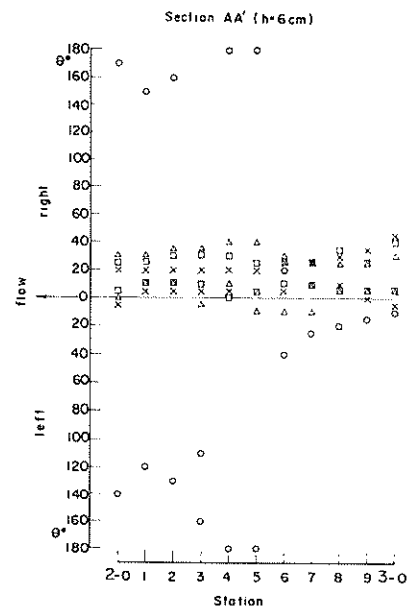


図-58-6 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

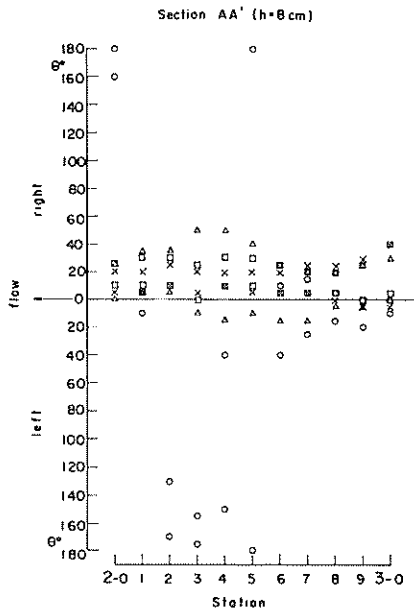


図-58-7 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

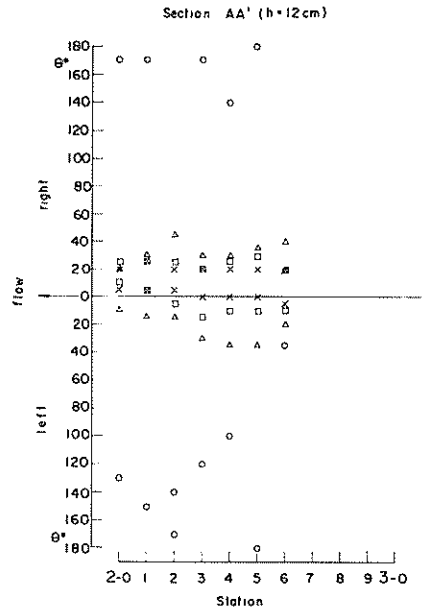


図-58-9 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

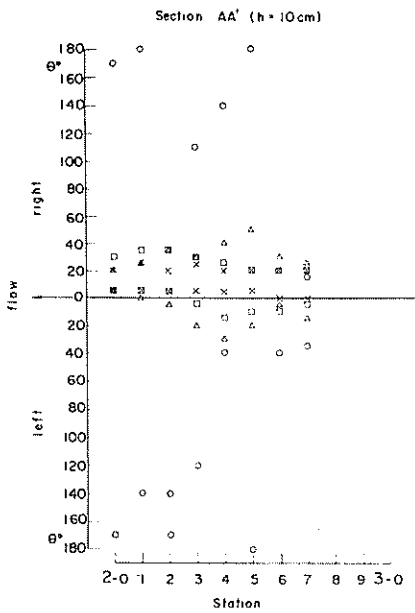


図-58-8 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

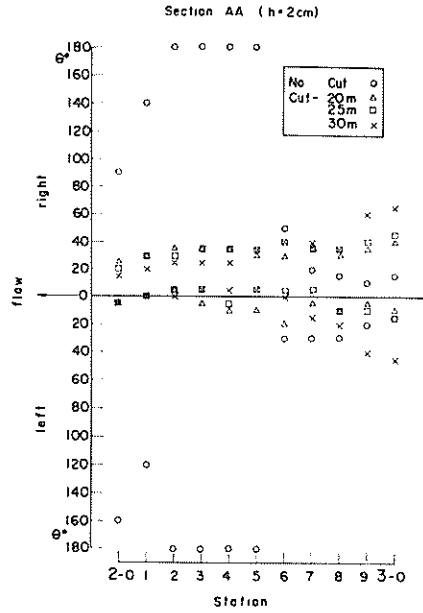


図-58-10 コノ瀬cutによる水平面内の変動量



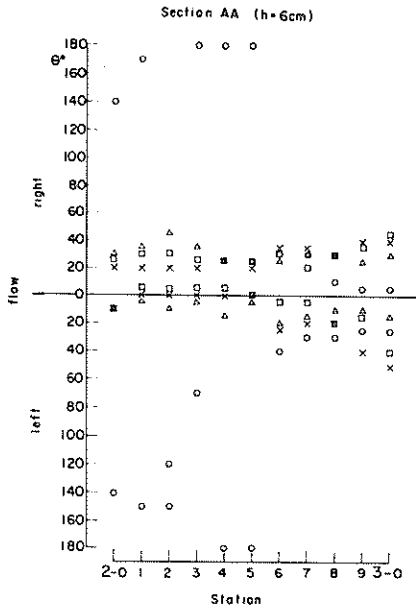


図-58-11 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

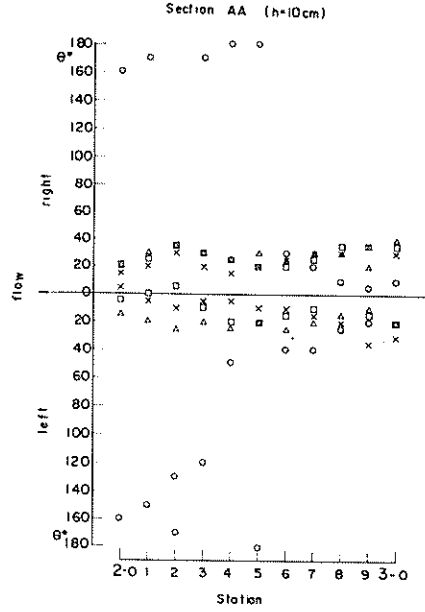


図-58-13 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

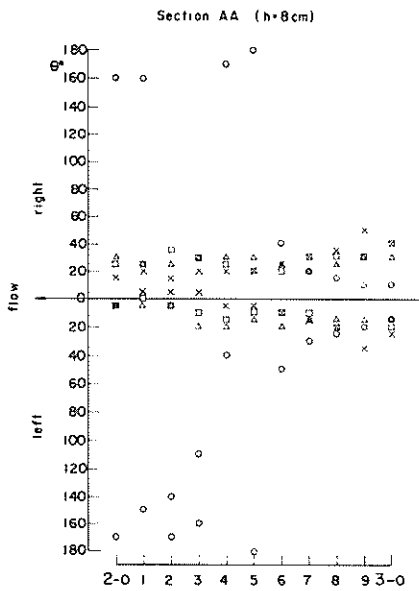


図-58-12 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

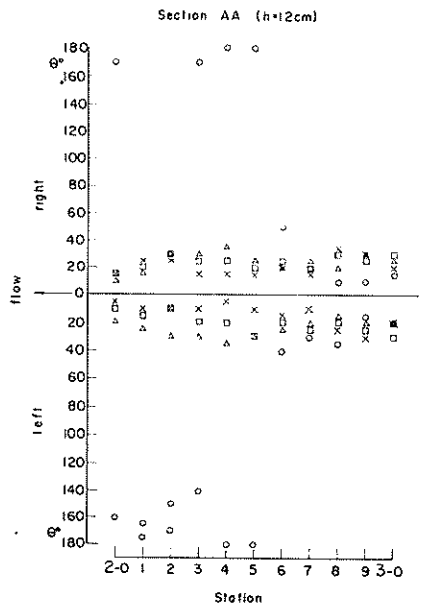


図-58-14 コノ瀬cutによる水平面内の変動量

改良の結果は水深各層で変動量が大幅に減少し、さらに流れの方向もほぼ一様となり効果的である。また小島よりのA-2-6から3-0では、変動量に多少の差異はあるが、流向はほぼ現況時と同じく若干右寄りに変化する。

AA' 測線の乱れの分布は、全般的な傾向として上流のA測線と似た性質をなしている。これは地形改良部の上流域の平面地形あるいは改良部周辺の海底地形による流れの性質と考えられよう。

AA測線における乱れの減少傾向は沖方(AA-2-0~2-5)では上流側の測線とほぼ似ているが、小島より(AA-2-6~3-0)は異なった現象が生じている。これはu, v成分で述べているように改良地形によって沖方の流れが増し、逆に小島よりの流れが減少されることから、流心の移動および小島の東島尻鼻から発生する剝離等の関係で現況より若干不規則な流れが現われるためである。

#### (4) 要 約

以上の実験結果から地形改良の潮流に対する効果はきわめて大きいといえる。まずコノ瀬の改良によってその周辺における流況のパターンが現況にくらべ単純になることは、乱れが大幅に減少しよく整えられたことを示す。このことは流向変動幅の分布からも容易に知ることができる。一方の馬島西岸における地形改良では、case 3-3以外はほぼ潮流によい結果が現われる。しかし、問題となるのは局部的に流速が増加することであるが、これは海底および馬島側壁の粗度の減少にともなう必然的な結果であり、実験目的が渦流緩和であることからこうした現象はやむを得ないものであろう。

### 10. 南北流の比較検討

南流および北流では地理的条件が異なることから流れの性質も当然違ってくることは実験より明らかである。そこで種々行なった地形改良による南北流の良否について検討すると次のようになる。

#### 1) コノ瀬の地形改良

西水道におけるコノ瀬は北方に位置していることから南流は流入域となるが北流は流出域になり、コノ瀬周辺の流況はきわめて複雑な現象を示した。そこで参考までに現況時の不規則な流れが航路筋に与える影響を考えた場合、コノ瀬およびその周辺の地形からも南流時において大きく現われる。コノ瀬地形改良の実験結果から南北流では流速の増減が異なり改良の効果は双方とも認められるが、実験目的からは上述の問題等で北流時より南流

時の方が潮流に対する地形改良の効果は大きい。

#### 2) 馬島西岸の地形改良

馬島西岸の地形改良では特に導流堤を施した場合の法線および配置等によって流れに与える影響の大きいことが検証された。すでに述べたように南北流では水理的性質が相当異なるため、導流堤の流況に対する効果は実験 case によって個々の場所でその成否が明らかになった。たとえば case 3-3 におけるウズ鼻の導流堤は、北流に対して最も悪い形状を示している。一連の実験結果(現地も同様)からもこの付近に流れが集中する傾向があり、そのため導流堤はウズ鼻をまわる流れを妨害する結果、その周辺における流況のパターンを複雑化するものである。また他の case については南流および北流で多少の差異はあるが、地形を改良した効果は十分認められる。

#### 3) 要 約

南流および北流の流況は記述の実験結果からも明らかのように流れの性質、その他水理条件はすべて地形により決定づけられることはいうまでもない。たとえば鉛直方向の流速分布は、地形の改良前後で南流は大きく異なるが北流ではそれほど変化をみせない。南流の場合には地形改良によって2つの水道からの合流地点の移動が要因としてあげられよう。したがって、厳密にはその条件等が南北流で相当異なっているため、このような現象が生じることは仕方がなかろう。

### 11. あ と が き

この実験は来島海峡における西水道の渦流緩和と対策の検討であるが、特にコノ瀬および馬島西岸付近の不規則な急潮流の水理的性質を調べ、地形を改良した場合の流れの性質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作製し、さらに現地状況の再現に極力正確を期するために対象外の中水道をも設けている。しかし、今回の実験も来島海峡の複雑な地形より発生する不規則な流況を模型上に再現することがきわめて困難であった。したがって実験により得られた微視的現象は模型特有のものであり、将来現地において地形を改良するにあたっては現地の乱れの性質を十分に知る必要がある。

以上の実験からコノ瀬および馬島西岸付近の渦流を減少させる地形改良について検討すれば次の如くである。

1) case 2 (コノ瀬 cut - 2.0 m) は浅海部を除去した関係から南北流とも乱れが減少され潮流に対する効果はきわめて大きいといえる。さらに - 2.5 m, - 3.0

$m$ とすれば、その効果は case 2 より幾分よくなるように思われるが、渦流緩和という観点から特に航路筋に与える影響を考えた場合、コノ瀬の掘削水深は  $-20m$  で十分であろう。

2) case 3-1 および case 3-2 (導流堤型式) は両者とも似た流況を示し、特にその優劣は決め難い。

ただし、導流堤を設けた場合航路内は効果が大きく、逆に導流堤内あるいは導流堤の間隙においては弱い流れであるが、複雑な流況を示すことから case 3-2 (case 3-1 から荒神鼻前面の導流堤を取り除く) を選定する。

3) case 3-3 (導流堤型式) は北流時のウズ鼻付近に激しい乱れが目立つため、導流堤の法線あるいは配置等に問題があると思われる。

4) case 4 (馬島西岸 cut  $-20m$ ) は北流時に關して改良の効果は期待できず、特にウズ鼻付近の cut 形状に疑問が残る。

以上概括的であるがこの実験の結論としたい。

最後にあたり、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、松山港工事事務所の関係者、模型計画などで懇切な御指導を賜わった浜田徳一博士、また実験には有益な助言を頂いた加藤水理研究室長に深く感謝の意を表します。 (1974年3月29日受付)

#### 参 考 文 献

- 1) 木村久雄, 宮原英治, 須藤 茂, 柴山焯彦, 浜田徳一: 来島海峡潮流模型実験(第1報) 港湾技術研究所報告, Vol. 10, №3, 1971年9月
- 2) 木村久雄, 宮原英治, 須藤 茂, 柴山焯彦, 浜田徳一: 来島海峡潮流模型実験(第2報) 港湾技術研究所報告, Vol. 11, №2, 1972年6月
- 3) 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, №173, 1972年2月
- 4) 来島海峡潮流図, 海上保安庁海図第6208号, 1964年12月
- 5) 水理公式集, 土木学会, 1963年増補改訂版

港湾技研資料 No.182

1974・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 日青工業株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.