

港湾技研資料

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

No. 231 Mar. 1976

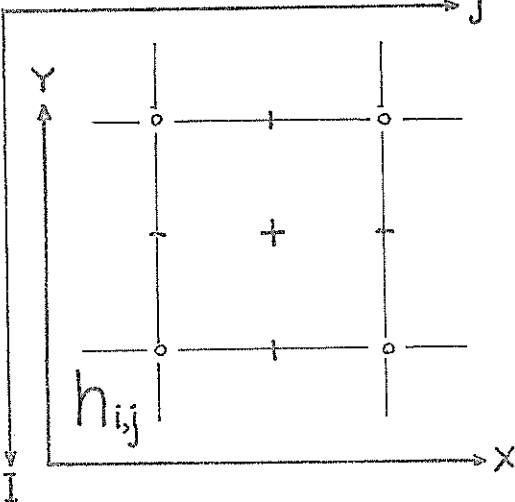
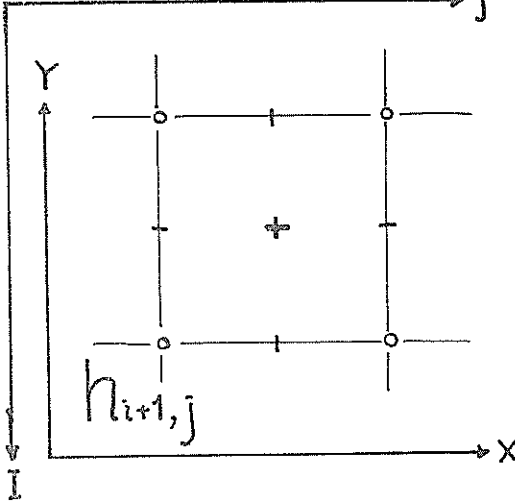
播磨灘の潮流と海水汚濁拡散の数値計算

金子安雄
堀江毅
柏村正樹
豊田奉節
矢嶋道夫

運輸省港湾技術研究所



正誤表

ページ	行	誤	正																																			
4	左下2	…入力条件の説明した…	…入力条件を説明した…																																			
10	図-9																																					
	式(6)	<p>右辺第3項</p> $-U_{i,j} (M_{i,j+1} - M_{i,j-1}) \frac{\Delta T}{2\Delta S}$	$-U_{i,j} (M_{i,j+1}^{k-\frac{1}{2}} - M_{i,j-1}^{k-\frac{1}{2}}) \frac{\Delta T}{2\Delta S}$																																			
13	表-3	<table border="1" data-bbox="389 1451 890 1688"> <thead> <tr> <th colspan="5">現況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>23</td> <td>10</td> <td>52</td> <td>79</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>13</td> <td>51</td> <td>35</td> <td>0.8</td> </tr> </tbody> </table>	現況					23	10	52	79	0.7	24	13	51	35	0.8	<table border="1" data-bbox="959 1451 1460 1688"> <thead> <tr> <th colspan="5">現況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>23</td> <td>10</td> <td>52</td> <td>79</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>13</td> <td>51</td> <td>35</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>16</td> <td>49</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	現況					23	10	52	79	0.7	24	13	51	35	0.8	25	16	49	0	0
現況																																						
23	10	52	79	0.7																																		
24	13	51	35	0.8																																		
現況																																						
23	10	52	79	0.7																																		
24	13	51	35	0.8																																		
25	16	49	0	0																																		
31	右下15	…について比較したものが…	…について比較したものが…																																			

目 次

要 旨	3
1. ま え が き	4
2. 播磨灘の潮流と水質の現状	4
2. 1. 潮 汐 潮 流	4
2. 2. 水 質	7
3. 数 値 モ デ ル	8
3. 1. 数値解法と計算手順	8
3. 2. 潮流と拡散の基本式	9
3. 3. 差 分 式	9
4. 入 力 条 件	11
4. 1. 潮流計算の入力条件	11
4. 2. 拡散計算の入力条件	14
4. 3. 計 算 ケ ー ス	16
5. 計 算 の 再 現 性	16
5. 1. 潮 流 計 算	16
5. 2. 拡 散 計 算	19
6. 空港建設による影響	20
6. 1. 潮汐振幅および遅角変化の検討	20
6. 2. 潮流変化の検討	20
6. 3. 拡散変化の検討	23
7. ま と め	27
8. あ と が き	29
参 考 文 献	29
付録 1. 定常解モデルの誘導	30
付録 2. 定常解を初期値として非定常計算を行う場合の問題点	31
資料 1. 計算潮流図（現況，大潮）	35
資料 2. 計算潮流図（現況，小潮）	41
資料 3. 計算潮流図（将来，大潮）	47
資料 4. 計算潮流図（将来，小潮）	53

播磨灘の潮流と海水汚濁拡散の数値計算

金	子	安	雄	*
堀	江		毅	**
柏	村	正	樹	***
豊	田	奉	節	***
矢	嶋	道	夫	***

要 旨

関西国際空港建設計画に伴う播磨灘候補地空港海上埋立案に対し、同空港埋立による播磨灘、大阪湾の潮流と汚濁拡散がどの程度の影響を受けるかを数値計算によって検討したものである。

計算対象は備讃瀬戸から播磨灘、大阪湾を含む領域とし、2.5 Km メッシュに格子分割した。

潮流計算では、備讃瀬戸、鳴門海峡、紀淡海峡から大潮と小潮の振幅、遅角を与えた。

拡散計算は、保存系物質が沿岸海域から負荷後一定潮汐間に拡散する速度とパターンを、初期濃度が全域0の場合と定常解を初期値として与えた場合とについて調べた。

現況地形と、空港埋立及び港湾埋立などを加えた将来地形との比較計算から、播磨灘及び大阪湾の潮流と汚濁拡散に対し、空港埋立や港湾埋立の有意な影響は認められなかった。

* 海洋水理部 海水汚染水理研究室長

** 海洋水理部 海水浄化研究室長

*** 運輸省航空局 関西国際空港計画室

1. ま え が き

昭和30年代から40年代初頭にわたっての我が国の高度経済成長の結果、生活水準は著しく向上したが、同時に人間社会をとりまく生活環境にも著しい変革もたらされた。特に、我が国の地形特性から、産業経済活動は大都市臨海部およびその周辺に集中し、人口の過密化、交通輸送システムの混乱、環境汚染の問題などが深刻化して、大きな社会問題へと発展している。

40年代後半からは、こうした過激とも思われる経済成長もたらした歪の是正をしつつ、安定成長をめざしてあらゆる努力が重ねられている。

こうした情勢の下で、今後益々増大すると考えられる航空輸送需要に対処するため、関西国際空港建設の必要性が叫ばれ、幾つかの候補地が挙げられている。他方、こうした大プロジェクトに対し、環境保全の立場から、航空機騒音、大気汚染、および空港建設に伴う自然破壊等、環境への影響を事前に評価することの必要性が叫ばれている。

地上または海上埋立によるいくつかの空港建設案に対し、運輸省航空局ではこれまで関連調査を繰返し実施し最適地を検討してきた。海上埋立案に対しては埋立地による潮汐潮流、物質拡散の影響を把握するため、水理模型実験¹⁾や数値シミュレーション²⁾を行ってきた。本報告はこれらの空港候補地の一つである播磨灘候補地海上埋立案に対して、数値シミュレーションにより、潮汐潮流と物質拡散の埋立地による影響を検討したものである。

対象領域は、播磨灘の潮流、拡散特性を考慮して、西は備讃瀬戸の一部から、東は大阪湾を含めた領域とした。潮流計算では、紀淡、鳴門両海峡および備讃瀬戸から大潮および小潮を与えて計算し、拡散計算では、COD負荷量を主な汚濁源より投入し、保存系物質(時間減衰しない物質)について計算を行った。初期値は全域0とした場合と、定常解モデルによる解を用いた場合の2通りを実施し、拡散の初期における拡散速度、パターンの変化と、拡散の平衡濃度附近におけるそれとを、現況地形と将来地形について比較した。

本文構成は目次に示すとおりであるが、2.においてまず播磨灘の潮流と水質の現状を観測データから簡単に分析し、3.において、数値解法と計算手順、潮流と拡散の基本式、差分式などの導入と解析を行い、4.では計算に用いた入力条件の説明した。5.においては、以上の計算式および入力条件によって計算された潮流計算、拡散計算を2.の観測値と比較して計算の再現性を検討すると

ともに、6.において、空港建設による潮流および拡散に対する変化を現況計算結果と比較検討した。さらに、付録1.、2.では、特に本文の拡散計算の特徴の一つである定常解を初期値とした計算に関連して、定常解モデルの解説と、定常解モデルを用いて非定常計算を行った場合の解の収束性についての検討結果等について記述した。最後に本文巻末に本計算より得られた潮流図を資料として添付しておく。

2. 播磨灘の潮流と水質の現状

2.1. 潮汐潮流

播磨灘は、瀬戸内海の東部に位置し、本州、四国および淡路島によって囲まれている。東は明石海峡によって大阪湾と、南は鳴門海峡によって紀伊水道と、西は備讃瀬戸によって水島灘とそれぞれ接する面積約3500Km²の海域で、小豆島、家島諸島のほか大小多数の島々が点在している。主な流入河川は兵庫県側の明石川、加古川、洗川、市川、揖保川、中川で、四国および淡路島からの流入河川は小さい。海底地形は、明石海峡、鳴門海峡の一部では水深100mを越えるが、それ以外の海域では中央部の40mを最深部として陸岸方向に浅くなっている。

播磨灘の潮汐潮流は主にこのような地形、海底地形、周辺海域の条件によって支配されている。

図-1および表-1は播磨灘、大阪湾の検潮所とそこにおいて得られた潮汐調和定数値(M_2 、 S_2 の振幅と遅角)を示すものである。明石海峡を通過した潮汐は急激に位相が遅れ(2~2.5時間)、南西に向って伝播する。明石に対する時間遅れは、家島で2.7時間、小豆島(坂手)で3.2時間、備讃瀬戸(男木島)、鳴門海峡で約4時間となっている。

これに対し潮汐振幅は大潮($M_2 + S_2$)で、明石1にに対し、家島1.6、坂手1.96、男木島3.1となり、西進するに従って増幅する。

図-2および図-3は播磨灘の西流および東流最強時の潮流を示すものである。西流時は、明石海峡より流入した海水は、播磨灘の水域の拡大によって南北に拡散しつつ西進し、家島諸島、小豆島を迂回して備讃瀬戸へと流出する。明石海峡、鳴門海峡の最大流速はそれぞれ5~8ノット、11ノットと大きい。播磨灘内部では、家島諸島北部0.5ノット、播磨灘中央部0.4~0.9ノット、同南部の0.2ノット、小豆島近傍1.0~1.4ノットと小さい。東流最強時は西流時とほぼ対照的な流況を呈し、流向が逆転し流速はほぼ同値である。

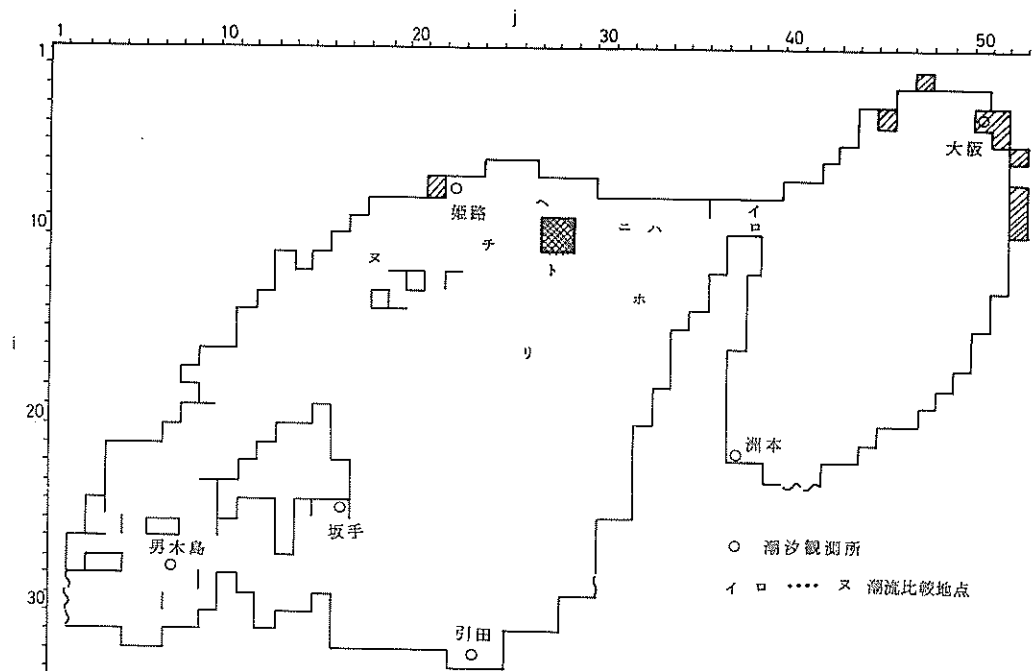


図-1 主な検潮所位置

表-1 主検潮所潮汐調和定数

分類 検潮所	M_2		S_2	
	振幅 (H) (cm)	遅角 (κ) (度)	振幅 (H) (cm)	遅角 (κ) (度)
引 田	35.8	333.2	9.4	340.1
坂 手	38.5	324.4	10.8	331.0
阿那賀浦	32.4	340.6	7.8	351.5
松 が 島	39.6	317.5	12.4	322.7
洲 本	29.6	196.1	16.4	222.8
淡 輪	33.0	205.0	18.3	224.6
大 阪	31.5	213.3	17.0	236.3
神 戸	31.1	215.9	16.7	234.4
明 石	15.9	240.3	9.3	236.6
江 井	25.0	333.6	5.6	326.0
高 砂	27.4	314.3	7.7	306.5
姫 路	31.1	315.8	8.7	313.4
家 島	31.2	318.8	8.6	318.2
男 木 島	59.3	331.1	18.6	353.1
宇 野	67.3	322.9	21.4	348.1

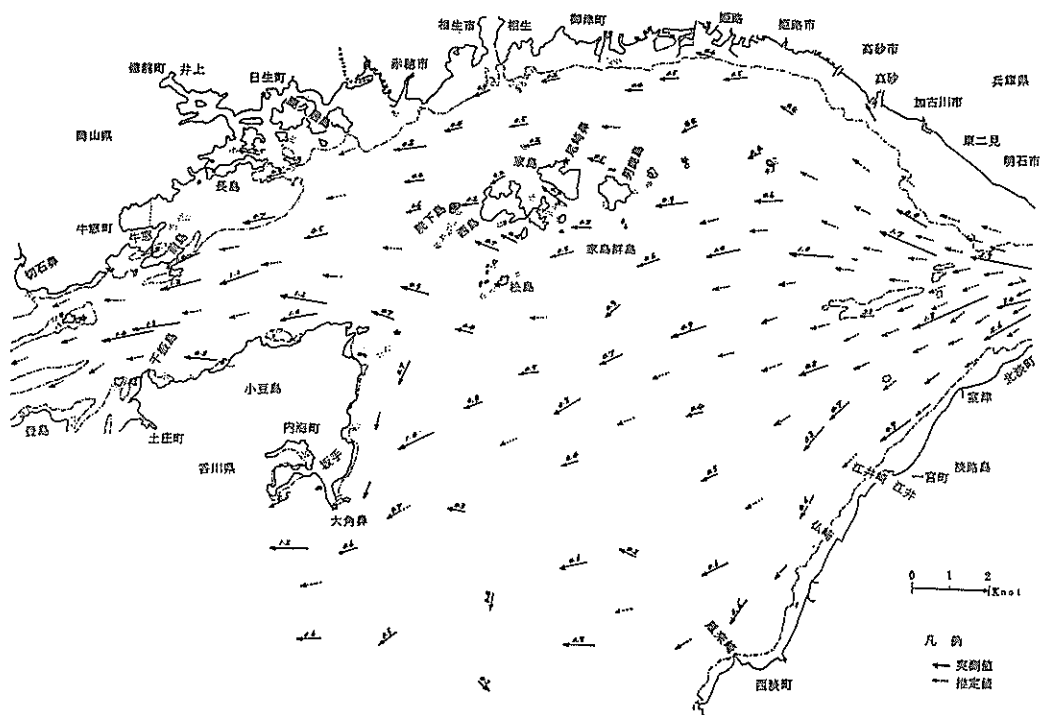


圖-2 播磨灘潮流西流最強時

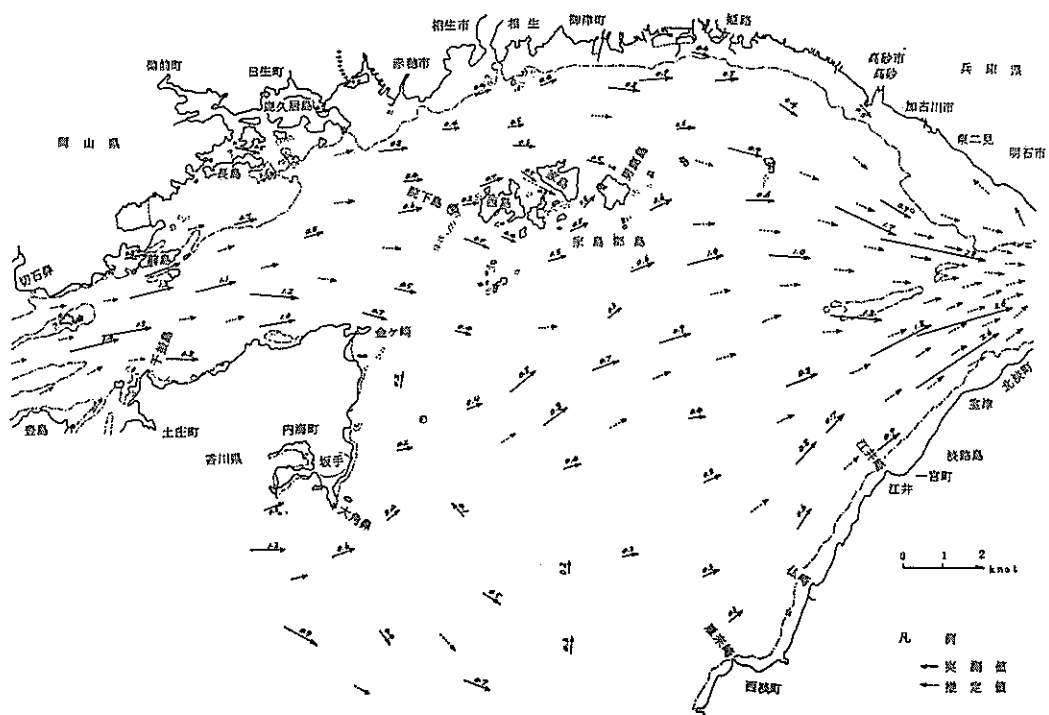


圖-3 播磨灘潮流東流最強時

2.2. 水 質

海水の汚濁の指標として視覚に最も強く訴えるものの一つは透明度である。図-4は1972年5月に環境庁が行った瀬戸内海水質汚濁調査³⁾の結果から、透明度の分布を示したものである。これによると、臨海工業地帯および都市の地先海域の透明度の低下が明らかで、大阪湾、播磨灘は汚染が著しい。透明度は気象や海況などの変化に大きく影響され、季節的変動も大きいため一概には云

えないが、瀬戸内海の海水汚濁は年々深刻化していることがつぎの図-5からも推察できる。図-5は、瀬戸内海的主要な海域における透明度の年平均(1916~1930, 1963および1969年の3種)とCOD負荷(1962と1968年の2種)についての年変化⁴⁾を表わしている。透明度の低下の度合は海域によって異なるが、戦前大阪湾を含め年平均透明度が至るところで8m以上あったものが、その後の汚濁の進行により、最近ではとくに隠灘から播磨灘

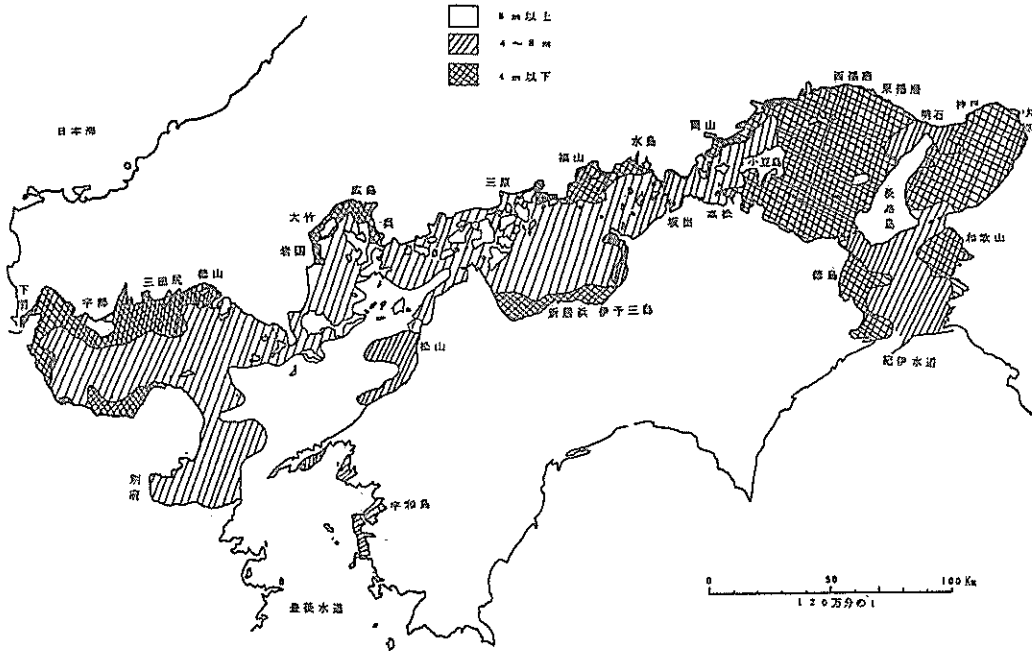


図-4 瀬戸内海透明度(1972年5月)

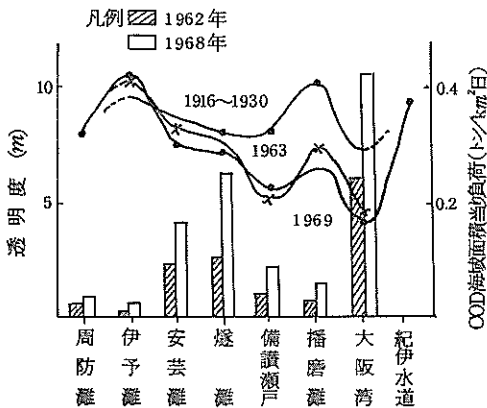


図-5 瀬戸内海水質変化

にわたっての透明度の低下が著しくなっている。

透明度と汚濁負荷(COD)との関係を見ると、負荷量の大きいのは大阪湾、隠灘、安芸灘であり、最近6年間の約2倍となっているが、透明度については、負荷量の最も大きい大阪湾における透明度低下率が小さく、負荷量の比較的小さい播磨灘において透明度の低下が大きい。このことは、大阪湾の汚濁が播磨灘に拡大進行していることを示している。これらの事実から、海水の汚濁は必ずしも海域の汚濁負荷量だけでは説明できず、隣接海域の状況、相互の物質流動、二次生産等の作用が場合によっては無視できないことを示している。

このように、透明度のみについても潮流や河川流等による物質の移流拡散、乱流拡散、沈降、付着、浮遊などの物理作用の他に、微生物による物質の酸化分解作用、

微生物の異状発生等の生物化学的作用があり、さらにこれらの測定技術上の問題も加わって、海域の汚濁の実態を把握することは容易ではない。

播磨灘における水質汚濁については、これまで系統的な調査が実施されておらず、同海域の汚濁の現況は十分に把握されていない。ここでは、環境庁が昭和47年から48年に5回にわたって実施した「瀬戸内海水質汚濁総合調査³⁾」の結果から、播磨灘の水質汚濁の現状をみるこ

ととする。

図-6は、同調査による表面CODの水平分布を大阪湾、播磨灘について示したものである。これによると播磨灘の水質汚濁は、大阪湾と同様に季節変化が大きく複雑であるが、全体的な特徴は、臨海工業地帯である東播磨、西播磨地先でCODが高く(3ppm以上)、鳴門海峡から北西の方向に扇形に広がる海域の濃度は低く、鳴門海峡、紀伊水道では2ppm前後である。

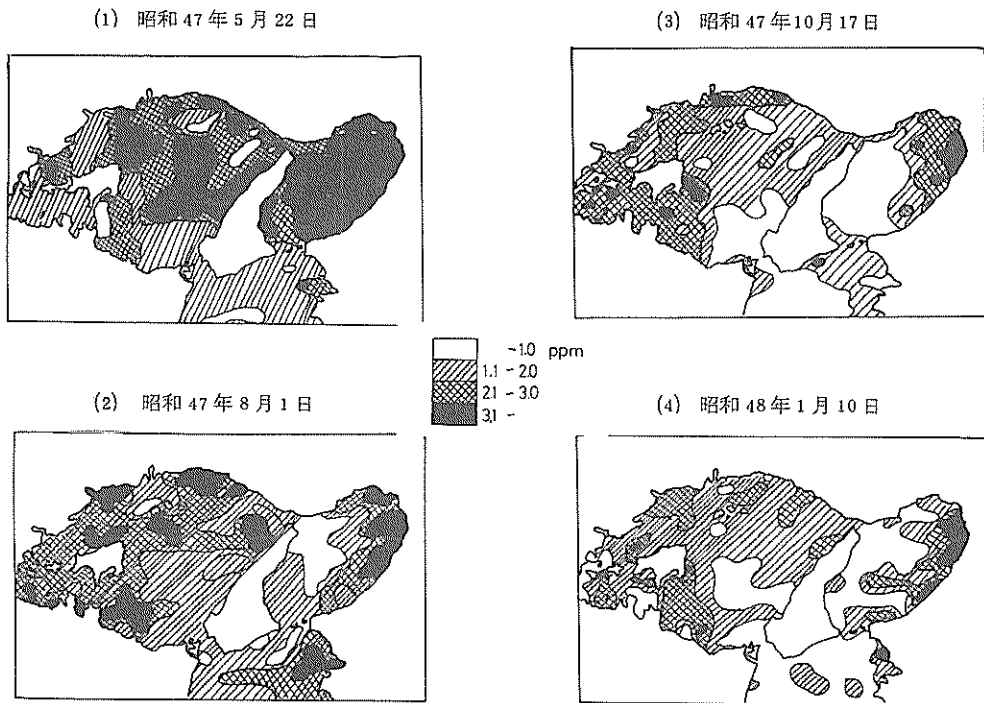


図-6 瀬戸内海 COD 分布 (表層)

3. 数値モデル

3.1. 数値解法と計算手順

潮流や物質拡散の現象は、質量保存および運動量保存の関係より導かれる偏微分方程式(後述)によって表わされるが、特殊の場合を除き一般の海域では解析的に解くことができない。このため、多くの場合、これらの偏微分方程式を差分商に置換えた、いわゆる差分法により

電子計算機を用いて離散的に解を求める手法をとっている。

偏微分方程式の時間差分、空間差分の相異により解法は幾種かあるが⁵⁾、本計算では従来最も多く使われているリーブ・フログ法に依ることとする。また、播磨灘海域では比較的鉛直混合がよい⁶⁾ことから、数値モデルは、平面的な拡がり方向のみの変化量(水深方向に平均した量)を取扱ういわゆる二次元単層モデルとする。

潮流および拡散計算は、図-7の順に従って行う。特に拡散計算では、濃度0ppmから負荷を始めて時間的に数10潮汐計算する非定常解と、初期値として別に計算して求めた定常解を与えて非定常解を継続する方法の2通りを実施する。後者は計算濃度分布が平衡に達するまでの演算所要時間の短縮を期待して行うものである。

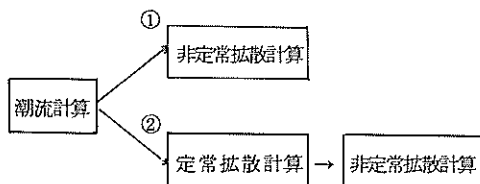


図-7 計算手順

3.2. 潮流と拡散の基本式

(1) 潮流の基本式

潮流計算は、拡散計算における流動場を与えるために求めるものである。

座標系を図-8に示すように定義すると、運動方程式および連続方程式はつぎのようになる。

運動方程式：

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} - r^2 |V| u + fN - u \frac{\partial M}{\partial x} - v \frac{\partial M}{\partial y} \dots (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} - r^2 |V| v - fM - u \frac{\partial N}{\partial x} - v \frac{\partial N}{\partial y} \dots (2)$$

連続方程式：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{\partial M}{\partial x} - \frac{\partial N}{\partial y} \dots (3)$$

ここに、

- x, y : 直角座標
- t : 時間
- ζ : 平均水面からの水位
- h : 平均水深
- g : 重力加速度
- u, v : それぞれ x, y 方向の流速
- N, M : $M = \int_h^\zeta u dz, N = \int_h^\zeta v dz$
- r^2 : 海底摩擦係数
- $|V|$: $|V| = \sqrt{u^2 + v^2}$
- f : コリオリ係数, $f = 2\omega \sin \varphi$
- ω : 地球自転角速度, φ : 緯度

(2) 拡散の基礎方程式

海水汚濁の因を成している物質は、本来、非保存系（時間とともに消滅したり増加したりするもの）であるが、本計算では、これらの消滅係数、生産係数などが不明のため保存系物質の拡散を取扱う。

(a) 非定常解モデル

濃度の時間的変化を追跡するいわゆる非定常解モデルでは、拡散基本式はつぎの式で表わされる⁵⁾。

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial(MC)}{\partial x} + \frac{\partial(NC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x H \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y H \frac{\partial C}{\partial y}) + Q \dots (4)$$

ここに、

$$H : h + \zeta$$

$$Q : \text{単位時間, 単位面積当りの負荷量}$$

である。

(b) 定常解モデル

本計算と直接関係はないが、拡散計算の初期値として

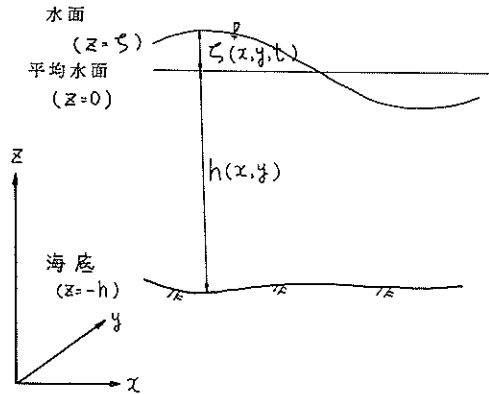


図-8 潮流計算の座標

採用した定常解濃度分布は、つぎの拡散基本式によって求めたものである。なお、式(5)の詳細は付録1(巻末)に示してある。

$$\bar{M} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + \bar{N} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \{ (K_{x0} + K_x) \bar{H} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (K_{y0} + K_y) \bar{H} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} \} + Q \dots (5)$$

ここに、

\bar{C} : 潮汐1周期間の平均濃度

\bar{M}, \bar{N} : 潮汐1周期間のそれぞれ M および N の平均値

\bar{H} : 潮汐1周期間の $(h + \zeta)$ の平均値

K_{x0}, K_{y0} : それぞれ M, N および C の1潮時間の平均値からの変動量に基づく拡散係数

K_x, K_y : それぞれ x, y 方向の渦動拡散係数

Q : 単位時間, 単位面積あたりの負荷量

である。なお、 K_{x0}, K_{y0} は、流動モデルで計算される流速 u, v から流速の標準偏差；

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (u - \bar{u})^2}{n}}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v - \bar{v})^2}{n}}$$

を計算し、

$$K_{x0} = \alpha \cdot \Delta S \cdot \sigma_x, \quad K_{y0} = \alpha \cdot \Delta S \cdot \sigma_y$$

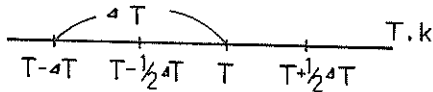
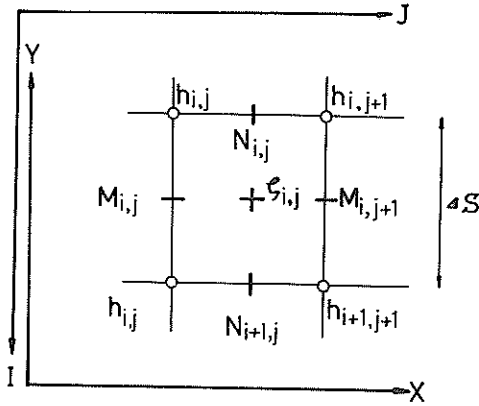
として求める。ここに、 α は定数、 n は1潮汐間のデータ数である。

3.3. 差分式

(1) 潮流モデルの差分式

差分メッシュを図-9のように定義し、運動方程式(1)、

(2)および連続方程式(3)に対しLeap-frog型の差分化を行くと、つぎの差分式が得られる。



$$\zeta^k = \zeta(T)$$

$$\zeta^{k-1} = \zeta(T - \Delta T)$$

$$M^{k+1/2} = M(T + 1/2 \Delta T)$$

$$M^{k-1/2} = M(T - 1/2 \Delta T)$$

図-9 潮流計算変数定義位置

$$M_{i,j}^{k+1/2} = M_{i,j}^{k-1/2} - g \frac{(h_{i,j} + h_{i+1,j} + \zeta_{i,j}^k + \zeta_{i,j-1}^k)}{2} (\zeta_{i,j}^k - \zeta_{i,j-1}^k) \frac{\Delta T}{\Delta S}$$

$$- \gamma^2 \sqrt{(U_{i,j}^{k-1/2})^2 + (V_{i,j}^{k-1/2})^2} \cdot U_{i,j}^{k-1/2} \Delta T + f N_{i,j}^{k-1/2} \Delta T$$

$$- U_{i,j}^{k-1/2} (M_{i,j+1} - M_{i,j-1}) \frac{\Delta T}{2 \Delta S}$$

$$- V_{i,j}^{k-1/2} (M_{i-1,j} - M_{i+1,j}) \frac{\Delta T}{2 \Delta S} \dots \dots \dots (6)$$

$$N_{i,j}^{k+1/2} = N_{i,j}^{k-1/2} - g \frac{(h_{i,j} + h_{i+1,j} + \zeta_{i,j}^k + \zeta_{i-1,j}^k)}{2} (\zeta_{i,j}^k - \zeta_{i-1,j}^k) \frac{\Delta T}{\Delta S}$$

$$- \gamma^2 \sqrt{(U_{i,j}^{k-1/2})^2 + (V_{i,j}^{k-1/2})^2} \cdot V_{i,j}^{k-1/2} \Delta T - f M_{i,j}^{k-1/2} \Delta T$$

$$- U_{i,j}^{k-1/2} (N_{i,j+1}^{k-1/2} - N_{i,j-1}^{k-1/2}) \frac{\Delta T}{2 \Delta S}$$

$$- V_{i,j}^{k-1/2} (N_{i-1,j}^{k-1/2} - N_{i+1,j}^{k-1/2}) \frac{\Delta T}{2 \Delta S} \dots \dots \dots (7)$$

$$\zeta_{i,j}^{k+1} = \zeta_{i,j}^k - (M_{i,j+1}^{k+1/2} - M_{i,j}^{k+1/2}) \frac{\Delta T}{\Delta S} - (N_{i,j}^{k+1/2} - N_{i+1,j}^{k+1/2}) \frac{\Delta T}{\Delta S} \dots (8)$$

ここに,

ΔT = 時間間隔

ΔS = X-Y 平面格子間隔

$$U_{i,j}^k = \frac{1}{4} (U_{i,j}^k + U_{i-1,j}^k + U_{i,j+1}^k + U_{i-1,j+1}^k)$$

$$M_{i,j}^k = \frac{1}{4} (M_{i,j}^k + M_{i-1,j}^k + M_{i,j+1}^k + M_{i-1,j+1}^k)$$

などと表わす。

(2) 非定常拡散モデルの差分式

非定常モデルの差分式は式(4)よりつぎのように表わされる。

$$\frac{C_{i,j}^{k+1} - C_{i,j}^k}{\Delta t} + u_{i,j}^{k+1} \frac{C_{i,j+1}^{k+1} - C_{i,j-1}^{k+1}}{2 \Delta S} + v_{i,j}^{k+1} \frac{C_{i-1,j}^{k+1} - C_{i+1,j}^{k+1}}{2 \Delta S}$$

$$= \frac{1}{h_{i,j}} \frac{1}{\Delta S} \left\{ \frac{K_{i,j+1} + K_{i,j}}{2} \cdot \frac{h_{i,j+1} + h_{i,j}}{2} \cdot \frac{C_{i,j+1}^{k+1} - C_{i,j}^{k+1}}{\Delta S} \right.$$

$$\left. - \frac{K_{i,j} + K_{i,j-1}}{2} \cdot \frac{h_{i,j} + h_{i,j-1}}{2} \cdot \frac{C_{i,j}^{k+1} - C_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta S} \right\}$$

$$+ \frac{1}{h_{i,j}} \frac{1}{\Delta S} \left\{ \frac{K_{i-1,j} + K_{i,j}}{2} \cdot \frac{h_{i-1,j} + h_{i,j}}{2} \cdot \frac{C_{i-1,j}^{k+1} - C_{i,j}^{k+1}}{\Delta S} \right.$$

$$\left. - \frac{K_{i,j} + K_{i+1,j}}{2} \cdot \frac{h_{i,j} + h_{i+1,j}}{2} \cdot \frac{C_{i,j}^{k+1} - C_{i+1,j}^{k+1}}{\Delta S} \right\} \dots \dots \dots (9)$$

(3) 定常拡散モデルの差分式

差分メッシュを図-10のように定義すれば、式(5)はつぎの差分式で表わすことができる。 \otimes

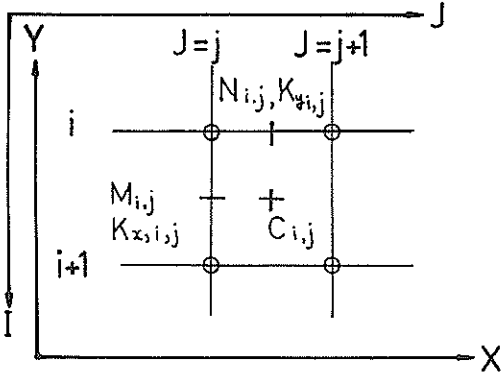


図-10 拡散モデルの変数定義位置

$$\begin{aligned} & \bar{M}_{i,j} \frac{\bar{C}_{i,j} - \bar{C}_{i,j-1}}{\Delta S} + \bar{N}_{i,j} \frac{\bar{C}_{i-1,j} - \bar{C}_{i,j}}{\Delta S} \\ &= \frac{1}{(\Delta S)^2} \{ K_{x,i+1} \bar{H}_{i,j+1} (\bar{C}_{i,j+1} - \bar{C}_{i,j}) - K_{i,j} \bar{H}_{i,j} (\bar{C}_{i,j} - \bar{C}_{i,j-1}) \\ & \quad + K_{i,j} \bar{H}_{i,j} (\bar{C}_{i-1,j} - \bar{C}_{i,j}) - K_{i+1,j} \bar{H}_{i+1,j} (\bar{C}_{i,j} - \bar{C}_{i+1,j}) + Q \} \\ & \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

4. 入力条件

4.1. 潮流計算の入力条件

表-2は、潮流計算に用いた主な入力諸元を示すものである。

計算対象領域は、播磨灘を中心として東の大阪湾、西

の備讃瀬戸を含む東西約140Km、南北約70Kmとする。

座標の方向は、播磨灘に計画されている関西国際空港埋立案の法線に従い、図-11のように縦軸を経線に対し東に18.5度回転させた方向にとる。空港埋立の東北隅の点を基点として2.5Kmの格子分割とする。

水深は海図第106号⁷⁾を用い、さきの格子点上の水深を読みとる。計算では平均潮位を考慮し、1.20mレベルアップする。

タイムステップはノイマンの安定条件より、

$$\Delta t \leq \frac{\Delta S}{\sqrt{2gh}} = \frac{2500}{\sqrt{2 \times 9.8 \times 75.2}} \doteq 64 \text{ sec}$$

であるが、本計算では予備計算の結果、解の安定性を確保するため、最終的には $\Delta t=30$ 秒を本計算のタイムステップとして採用する。

コリオリ係数は一定値で代用し、緯度は計算領域のほぼ中央を横断する $35^{\circ}30'$ とする。

粗度係数(γ^2)は、全域一定とし、0.0026を与える。

強制水位は紀淡、鳴門および備讃瀬戸の3境界の端点における潮汐の調和定数($M_2 \pm S_2$)および κ_2 よりなる正弦波を与える。境界の端点を除く中間点については、両端点の水位から内挿して与える。

河川流量は沿岸の主要河川を対象とし、その年平均流量を表-3および図-12(1),(2)に示す要領で与える。

計算ケースは、地形2ケース(現況と将来)、潮汐2ケース(大潮と小潮)の計4ケースを実施する。

※注) 式(10)は移流項、拡散項とも差分の表現を簡略化しているが、物質収支のうえからは次式の表現も可能である。

$$\begin{aligned} & (\bar{M}_{i,j+1} \frac{\bar{C}_{i,j+1} + \bar{C}_{i,j}}{2} - \bar{M}_{i,j} \frac{\bar{C}_{i,j} + \bar{C}_{i,j-1}}{2}) \frac{1}{\Delta S} \\ & + (\bar{N}_{i,j} \frac{\bar{C}_{i-1,j} + \bar{C}_{i,j}}{2} - \bar{N}_{i+1,j} \frac{\bar{C}_{i,j} + \bar{C}_{i+1,j}}{2}) \frac{1}{\Delta S} \\ & = \frac{1}{(\Delta S)^2} \{ K_{x,i+1} \frac{\bar{H}_{i,j+1} + \bar{H}_{i+1,j+1}}{2} (\bar{C}_{i,j+1} - \bar{C}_{i,j}) - K_{x,i,j} \frac{\bar{H}_{i,j} + \bar{H}_{i+1,j}}{2} (\bar{C}_{i,j} - \bar{C}_{i,j-1}) \} \\ & + \frac{1}{(\Delta S)^2} \{ K_{y,i,j} \frac{\bar{H}_{i,j} + \bar{H}_{i,j+1}}{2} (\bar{C}_{i-1,j} - \bar{C}_{i,j}) - K_{y,i+1,j} \frac{\bar{H}_{i+1,j} + \bar{H}_{i+1,j+1}}{2} (\bar{C}_{i,j} - \bar{C}_{i+1,j}) \} + Q \end{aligned}$$

表-2 潮流計算入力諸元

諸 元	採 用 し た 値
計算対象領域	大阪湾 - 播磨灘 - 備讃瀬戸 (図-11)
座 標	(図-11)
格子間隔 (ΔS)	2.5 Km
水 深 (h)	海図より読取 (+1.20 ^m を加える)
タイムステップ (Δt)	30 秒
コリオリ係数 (f)	$f = 2\omega \sin \varphi$, $\omega = 2\pi / (24 \times 60 \times 60)$, $\varphi = 34.5^\circ$
粗 度 係 数 (γ^2)	0.0026
強 制 水 位 (潮汐)	<p>紀淡海峡, 鳴門海峡および備讃瀬戸より $M_2 + S_2$, $M_2 - S_2$ の振幅と M_2 の遅角を与える。</p> $\zeta_{24,20} = (38.8 \pm 19.8) \sin\left(\frac{2\pi}{T} k \Delta t - 0.0\right)$ $\zeta_{29,30} = (32.4 \pm 7.8) \sin\left(\frac{2\pi}{T} k \Delta t - 148.1^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ}\right)$ $\zeta_{20,2} = (70.0 \pm 22.0) \sin\left(\frac{2\pi}{T} k \Delta t - 135.5^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ}\right)$ <p>単位 (cm), $T =$ 潮汐周期, $k = 0, 1, 2, \dots$</p>
河 川 流 量	沿岸主要河川の年平均流量を別表-3, 図-12のように与える。
計 算 ケ ー ス	現況地形と将来地形(図-11, 表-5) } 計4ケース 大潮と小潮

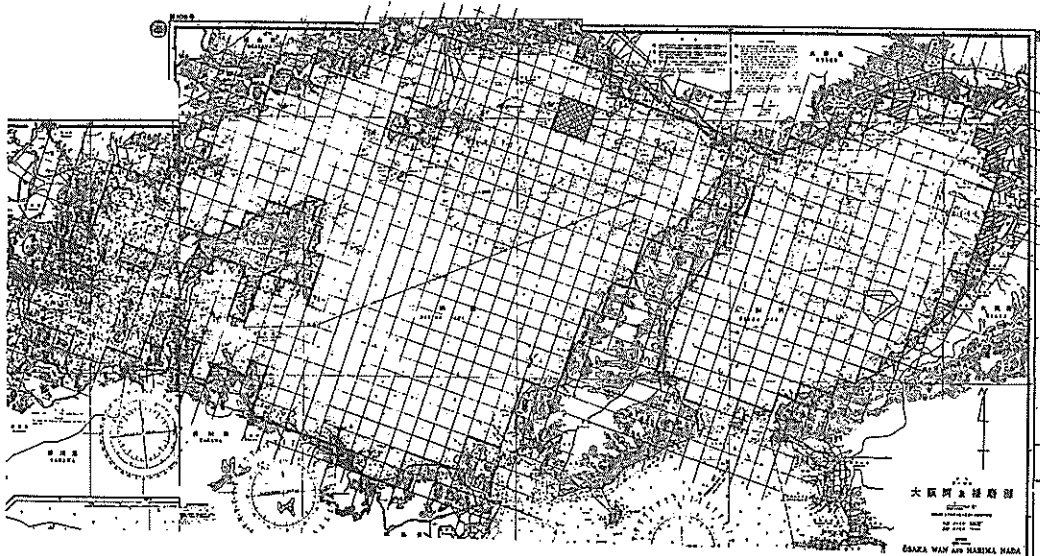
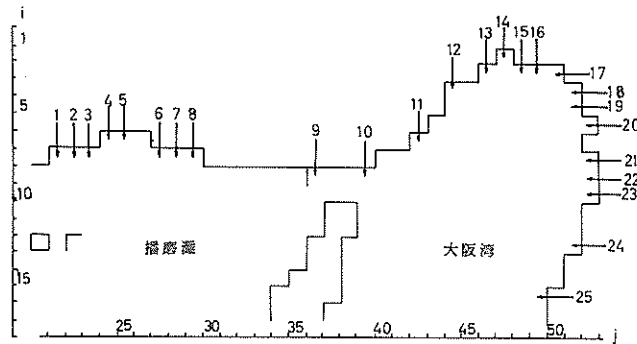


図-11 計算領域と差分メッシュ (2.5Kmメッシュ)

表-3 河川水流入量とCOD負荷量

現					将					来				
流入, 負荷地点 図-12(1)	メッシュ番号		流入水量 (km^3/day)	COD負荷量 (t/day)	流入, 負荷地点 図-12(2)	メッシュ番号		流入水量 (km^3/day)	COD負荷量 (t/day)	流入, 負荷地点 図-12(2)	メッシュ番号		流入水量 (km^3/day)	COD負荷量 (t/day)
	i	j				i	j				i	j		
1	8	21	211	11.2	1	9	21	165	4.2	1	9	21	165	4.2
2	8	22	—	11.5	2	8	22	46	18.5	2	8	22	46	18.5
3	8	23	297	4.9	3	8	23	297	4.9	3	8	23	297	4.9
4	7	24	—	0.6	4	7	24	—	0.6	4	7	24	—	0.6
5	7	25	52	3.7	5	7	25	52	3.7	5	7	25	52	3.7
6	8	27	106	2.3	6	8	27	106	2.3	6	8	27	106	2.3
7	8	28	—	10.4	7	8	28	—	10.4	7	8	28	—	10.4
8 加古川	8	29	1,255	10.2	8 加古川	8	29	1,255	10.2	8 加古川	8	29	1,255	10.2
9	9	36	57	0.8	9	9	36	57	0.8	9	9	36	57	0.8
10	9	39	26	0.8	10	9	39	26	0.8	10	9	39	26	0.8
11	7	42	121	4.0	11	7	42	121	4.0	11	7	42	121	4.0
12	4	44	—	21.2	12	4	44	—	21.2	12	4	44	—	21.2
13	3	46	6	0.5	13	3	46	6	0.5	13	3	46	6	0.5
14	2	47	117	2.5	14	3	47	69	1.7	14	3	47	69	1.7
15	3	48	—	3.4	15	3	48	48	4.1	15	3	48	48	4.1
16 武庫川	3	49	840	43.6	16 武庫川	3	49	840	43.6	16 武庫川	3	49	840	43.6
17 淀川他	3	50	6,652	174.0	17 淀川他	3	50	4,751	108.2	17 淀川他	3	50	4,751	108.2
18 安治川	4	51	6,480	83.6	18 正連寺川	4	49	1,901	65.8	18 安治川	4	49	1,901	65.8
19 木津川	5	51	1,728	53.4	19 安治, 木津川	5	50	8,209	137.1	19 木津川	5	50	8,209	137.1
20 大和川	6	52	1,650	21.4	20 大和川	6	51	1,650	21.4	20 大和川	6	51	1,650	21.4
21	8	52	143	7.6	21	8	51	143	7.6	21	8	51	143	7.6
22	9	52	—	6.4	22	9	51	—	6.4	22	9	51	—	6.4
23	10	52	79	0.7	23	10	51	79	0.7	23	10	51	79	0.7
24	13	51	35	0.8	24	13	51	35	0.8	24	13	51	35	0.8
					25	16	49	60	1.1					

(1) 現況



(2) 将来

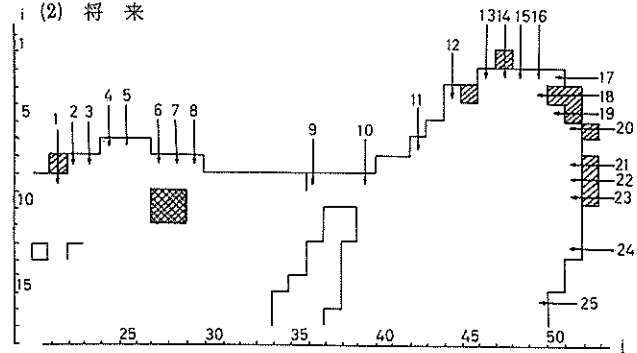


図-12 河川水流入とCOD負荷位置

4.2. 拡散計算の入力条件

表-4は拡散計算に用いた主な諸元を示すものである。計算対象領域、座標のとり方、格子間隔、水深などは潮流計算の場合と全く同一である。

タイムステップは、360秒(6分)とする。

潮位および潮流のデータは、潮流計算により得られた値をディスクに収納し、6分毎に読取って拡散計算に用いる。

汚濁負荷量は、昭和47年に環境庁が実施した瀬戸内海水質汚濁調査の資料³⁾に基づき、工場、事業所、河川などの1日当りの汚濁負荷量と河川流入量から、海域モデルの各メッシュ毎のCOD汚濁負荷量を求める。これらの詳細値は表-3および図-12に示されている。

拡散係数は、非定常計算に対しては、

$$K_x = K_y = 0.1l$$

l : 陸岸よりの最短距離

を採用する¹⁾。この結果、拡散係数は $2.5 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ~

$2.5 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}$ の範囲の値となっている。また、定常計算では $3.2 \times 10^5 \sim 3.3 \times 10^7 \text{ cm}^2/\text{sec}$ の範囲となっている⁶⁾。

境界濃度は、閉境界の場合、境界を通じての物質授受がないと考えて0、開境界の場合、初期濃度を全域0として計算開始する場合は0に、定常解を初期値として計算開始する場合は、紀淡海峡、鳴門海峡、備讃瀬戸をそれぞれ1.85 ppm, 1.84 ppm, 1.81 ppmに固定する。

海域の初期濃度を0とする場合は、河川および主要汚濁源からの汚濁物質の拡散速度と分布をみることを目的とし、海域の初期濃度に定常解を用いる場合は、あらかじめ汚濁濃度分布を与えて計算を開始するものである。この汚濁濃度分布は、現地観測による実測値又はこれに代わる値を与えるのが望ましいが、実測値は既に述べたように、水深変化、季節変化などによる水質汚濁の変動が著しく、どの状態を現状の汚濁分布として捉えるかは容易でない。そこで本計算では、環境庁が行った定常解モデルによる瀬戸内海広域水質シミュレーションの結果⁶⁾を用いて非定常計算を行い、ほぼ平衡に達したと考

表-4 拡散計算入力諸元

諸 元	採 用 し た 値
計算対象領域	} 潮流計算に使用した値と同一
座 標	
格 子 間 隔 (ΔS)	
水 深 (h)	
タイムステップ (Δt)	360秒 (6分)
潮位および潮流	潮流計算で得られたデータを利用
汚 濁 負 荷 量	沿岸主要汚濁源よりCOD負荷量を投入する。(表-3, 図-12参照)
拡 散 係 数	非定常計算では $K_x = K_y = 0.1l$ (l は陸岸よりの最短距離) 定常計算では、式(4)'で表わされる値
境 界 濃 度	閉境界 : 境界を通じての物質授受 0 開境界 : 紀淡海峡 1.85 ppm 鳴門海峡 1.84 " } に固定 備讃瀬戸 1.81 "
初 期 濃 度	全域初期濃度0の場合 定常解計算により得られた値を用いる場合 } 2ケース
計 算 時 間	初期濃度0……………60潮汐 定常解モデルに基づく初期値の場合……………30潮汐 (但し、初期値として用いる前に30潮汐の非定常計算を現況地形で行っている。)
計 算 ケ ー ス	初期濃度0の場合…現況, 将来(いずれも大潮)の2ケース 定常解を初期値とする場合…現況, 将来(大潮と小潮)の4ケース } 計6ケース

1) 他に $K_x = K_y = \alpha l^{\frac{2}{3}}, \beta l^2, \dots$ などがある。いずれの場合も α, β, \dots は有次元量として取扱っている。

えられる 30 潮汐目の汚濁分布を海域の初期濃度とする (図-13, 14)。この場合、境界濃度は既述のとおり、紀淡海峡で 1.85 ppm, 鳴門海峡で 1.84 ppm, 備讃瀬戸で 1.81 ppm に固定している。

ここで、初期濃度をゼロとする場合と定常解を用いる場合の特徴を述べると、前者では、汚濁源より投入された物質が拡散して定常的な濃度分布を示すに至る以前の初期の段階において、いかなる速度でどの程度の範囲ま

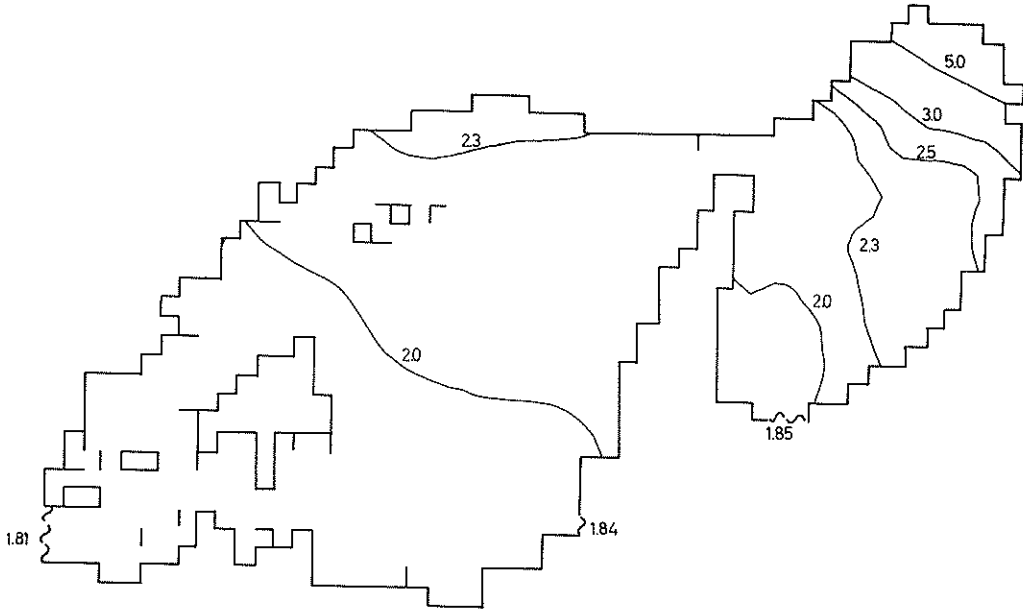


図-13 定常解モデルに基づく初期濃度分布 (大潮) (単位 ppm)

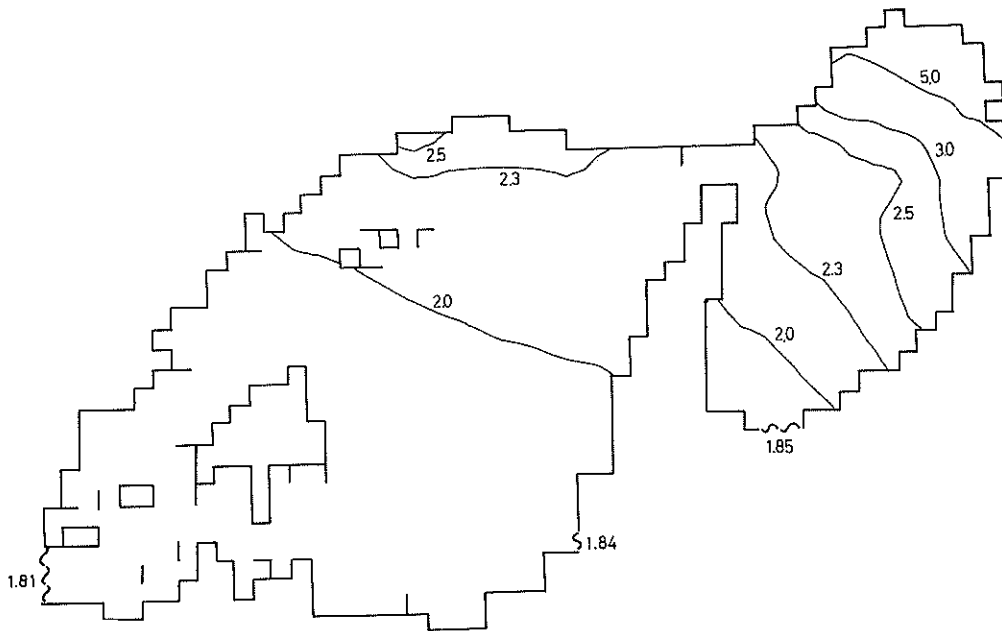


図-14 定常解モデルに基づく初期濃度分布 (小潮) (単位 ppm)

で拡散するかをみるのに有効な手法であり、地形変化、潮流変化などによる拡散初期の影響が明確に現われる反面、汚濁負荷量と境界外よりの物質流出量との収支がバランスして計算領域内の濃度分布が平衡状態に達するためには莫大な時間を要する。一方、後者では、拡散係数および初期値として与えた濃度分布が適切であれば、数10潮汐という比較的短い非定常計算で計算領域内の汚濁物質は収支バランスし、濃度分布は平衡状態に達し、演算所要時間の節約が期待できる。したがって、拡散初期における拡散速度、拡散範囲についての地形、潮流変化による影響は検討できないが、濃度分布が平衡状態に達した時点の分布は、前者に較べてはるかに容易に求めることができる。

計算時間は、初期濃度が全域で0の場合は60潮汐まで、定常解モデルを初期濃度として用いる場合は30潮汐までとする。

4.3. 計算ケース

潮流および汚濁拡散計算のケースは表-5(○印)に示す計10ケースとする。

5. 計算の再現性

5.1. 潮流計算

(1) 潮汐

表-6(a),(b)は、それぞれ大潮、小潮時における代表地点の潮位と位相遅れについて観測値(潮汐調和定数)と計算値とを比較したものである。大潮の場合(表-6(a))、振幅に関しては10%以内の誤差に入っており、位相遅れの相違も5分(時間)以内で潮汐の再現性はよい。これに対し小潮の場合(表-6(b))には、姫路、大阪で30%弱、引田、坂手で20%弱過大となっている。位相遅れも姫路、引田、坂手で10~20分観測値よりも遅れている。このことから、小潮時の再現性は大潮時に較べてやや劣るといえる。

表-5 計算ケース

実験項目等 海岸線の状態	潮流計算		水質汚濁計算			
	大潮	小潮	定常解を初期濃度とした場合		初期濃度全域で0とした場合	
			大潮	小潮	大潮	小潮
現況	○	○	○	○	○	-
将来	○	○	○	○	○	-

表-6 計算潮汐の再現性

(a) 大潮

地点	メッシュ番号 (i, j)	観測値		計算値		観測値と計算値との比較	
		振幅(H ₀) (cm)	遅角(κ ₀) (時:分)	振幅(H) (cm)	遅角(κ) (時:分)	H/H ₀	κ-κ ₀ (分)
引田	(33, 23)	45.2	4:40	49.2	4:35	1.087	-5
坂手	(25, 16)	49.3	4:25	51.2	4:25	1.039	0
洲本	(22, 37)	46.0	0:05	45.8	0:10	0.996	5
大阪	(4, 50)	48.5	0:40	48.3	0:35	0.995	-5
姫路	(8, 22)	39.8	4:05	40.6	4:10	1.020	5
男木島	(28, 7)	77.9	4:30	72.2	4:25	0.930	-5

(b) 小潮

地点	メッシュ番号 (i, j)	観測値		計算値		観測値と計算値との比較	
		振幅(H ₀) (cm)	遅角(κ ₀) (時:分)	振幅(H) (cm)	遅角(κ) (時:分)	H/H ₀	κ-κ ₀ (分)
引田	(33, 23)	26.4	4:40	31.2	4:50	1.181	10
坂手	(25, 16)	27.3	4:25	32.6	4:40	1.194	15
洲本	(22, 37)	13.2	0:05	13.3	0:10	1.007	5
大阪	(4, 50)	14.5	0:40	18.5	0:40	1.275	0
姫路	(8, 22)	22.4	4:05	28.2	4:25	1.258	20
男木島	(28, 7)	40.7	9:30	41.4	4:35	1.017	5

(2) 潮 流

図-15, 図-16 は, それぞれ現況地形・大潮時における家島北海域の東流最強時, 西流最強時の潮流ベクトルを示している(巻末資料1参照)。観測値の潮流図(図

-2,3)と比較すれば, 流向はほぼ同様で, 明石-備讃瀬戸間で家島, 小豆島などを迂回して西流, 東流を繰返している。流速は, 明石海峡, 家島, 小豆島周辺で同程度の大きさを示しているが, 播磨灘中央部では0.3ノット

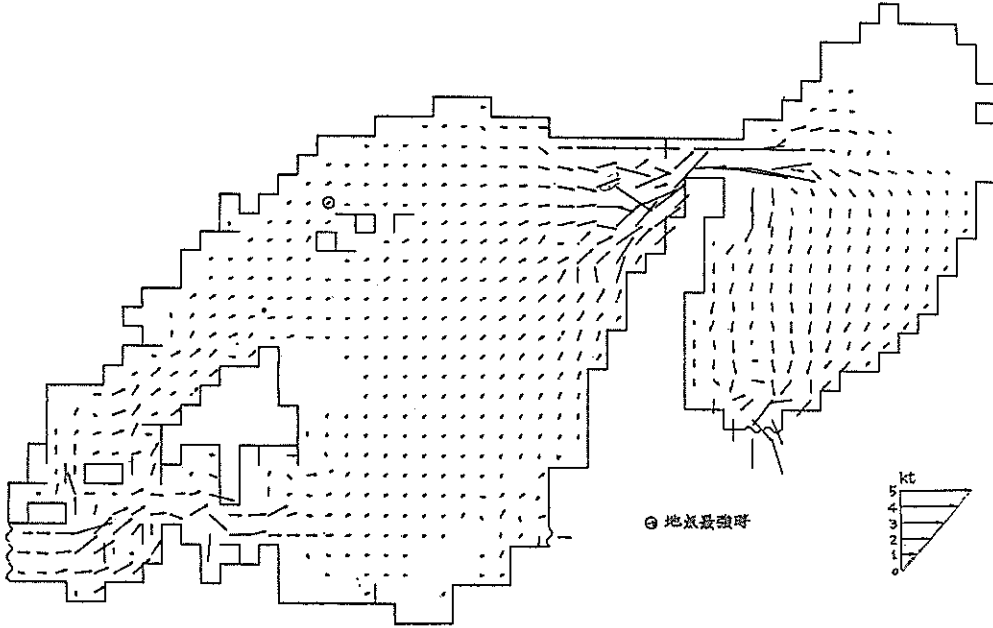


図-15 計算潮流(現況, 大潮, 東流最強時)

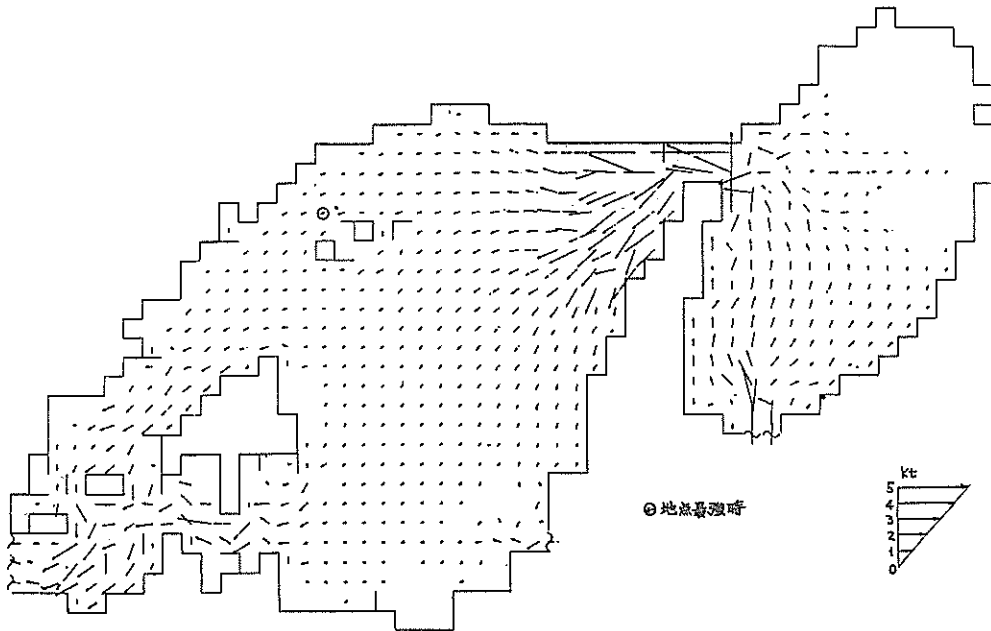


図-16 計算潮流(現況, 大潮, 西流最強時)

またはそれ以下であり、やや小さい。さらに、鳴門海峡では計算上2ノット程度が最大であり、観測潮流図の11ノットに較べればはるかに小さい。これは、鳴門海峡の最狭部を開境界にして計算領域をとつたため、紀伊水道

側の海岸線や海底地形による流れの慣性効果が忠実に再現できなかったことによるものと考えられる。

図-17、図-18は、それぞれ現況地形・小潮時における家島北海域の東流最強時、西流最強時附近の潮流ベクト

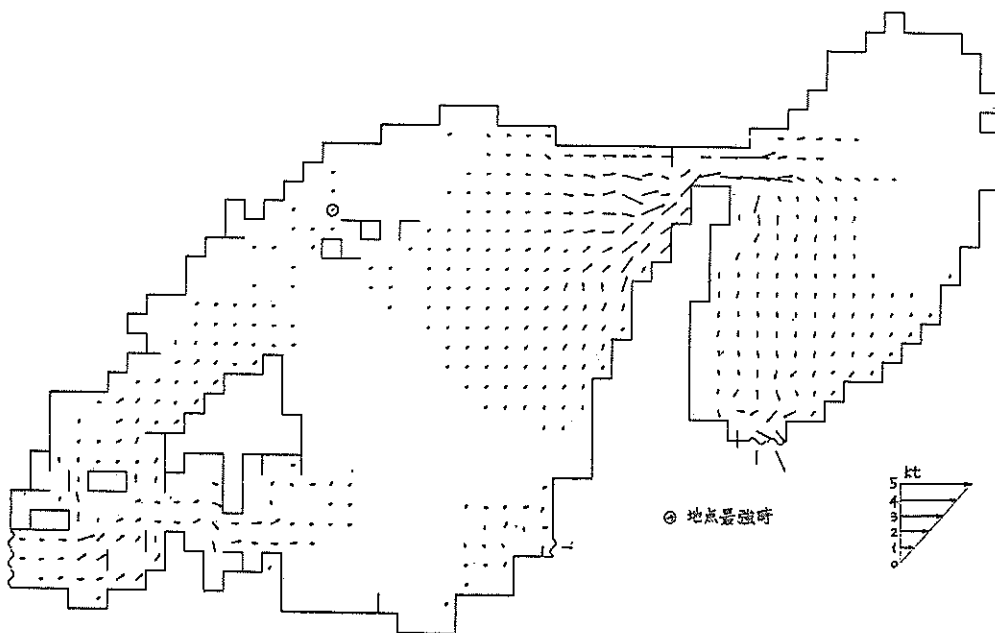


図-17 計算潮流（現況、小潮、東流最強時）

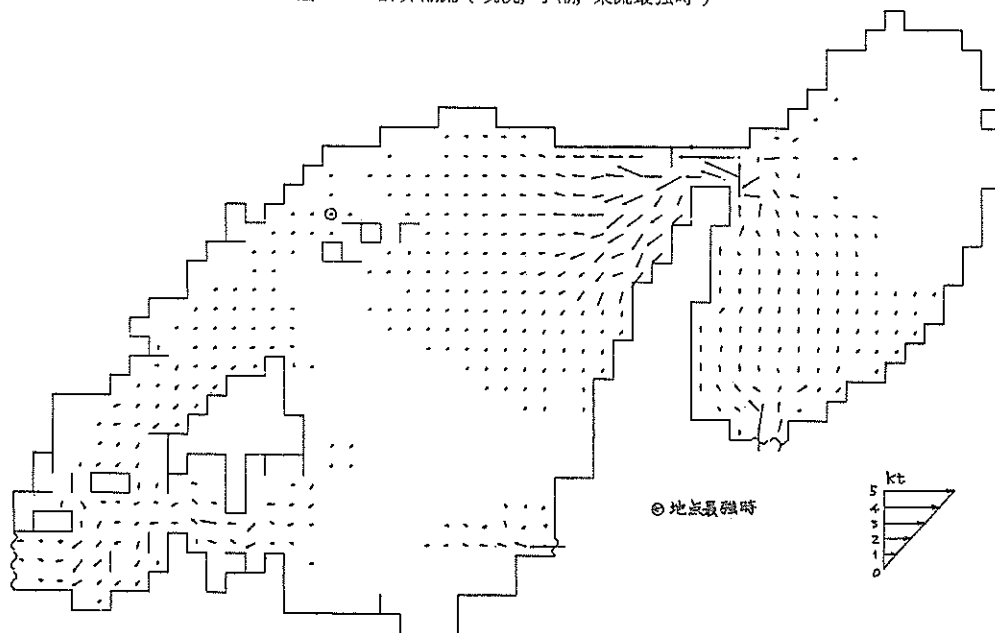


図-18 計算潮流（現況、小潮、西流最強時）

トルを示している(巻末資料2参照)。小潮については観測潮流図がないため実測値との比較はできないが、流向は大潮時とほぼ同傾向であり、流速は大潮時に較べて約40%減となっている。

以上から、潮流の再現性は、播磨灘中南部、鳴門海峡などの一部の海域を除けば、比較的良好といえよう。

5.2. 拡散計算

既述のように、拡散計算ではモデルが実現象に較べて

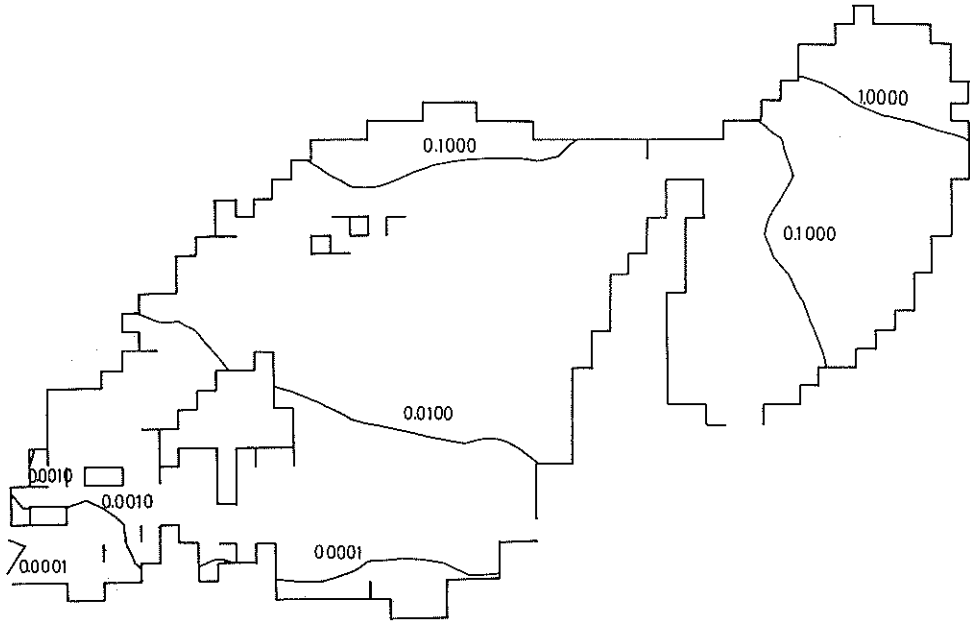


図-19 計算濃度分布(現況, 大潮, 初期濃度(0), 60潮汐)(単位ppm)

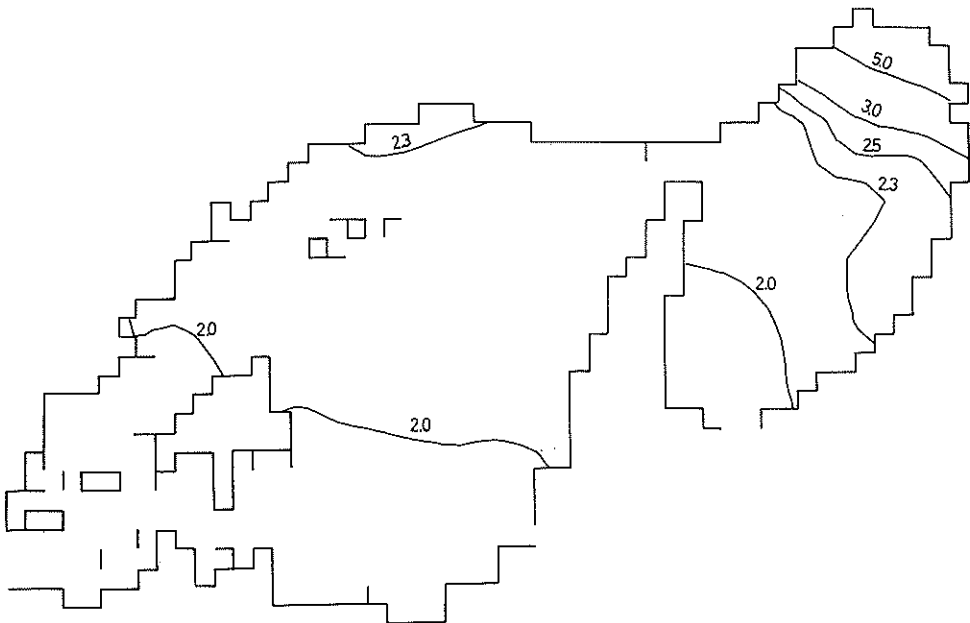


図-20 計算濃度分布(現況, 大潮, 初期濃度(定常解), 30潮汐)(単位ppm)

極めて単純化されているため、さきの水質調査結果(図-6)とは直接対応することはできない。

図-19は現況地形・大潮について、初期濃度0から沿岸汚濁源より負荷を与えて60潮汐計算した場合の最干潮時(濃度分布が最も拡がる時点)を示すものである。大阪、神戸を主汚濁源とする大阪湾の東高西低型の濃度分布および姫路、加古川を主汚濁源とする播磨灘の北高南低型の濃度分布が示されている。この分布をさきの現況COD分布図(図-6)と比較すれば、傾向的には昭和47年8月~10月の分布と類似している。

図-20は定常解⁶⁾モデルによる濃度分布を初期値とし、大潮で30潮汐非定常計算を行った後(図-13)、これを初期値としてさらに30潮汐非定常計算を行った場合の濃度分布を示すものである。20潮汐以降で濃度分布はほぼ平衡に達しているが、初期濃度ゼロから開始した場合の濃度分布と比較すれば明らかなように、前者の濃度が全般的に高く、後者の非定常解の分布は拡散の極めて初期の段階のものであることが判る。

6. 空港建設による影響

5.で潮流および汚濁拡散計算の再現性を現況地形の場合について検討した。この結果、潮汐潮流は一部海域を除けば、播磨灘の流動特性がほぼ表現されていること、

また、汚濁拡散は夏場のCOD分布に傾向的には類似していることが認められる。そこで本項では、空港および昭和55年までの港湾整備計画その他による沿岸埋立地を加えた将来地形時における潮流と汚濁拡散の計算を行い、さきに求めた現況地形時による計算と比較し、空港等の地形変化による潮流および汚濁拡散の影響を計算上から予測検討する。

6.1. 潮汐の振幅及び遅角変化の検討

表-7(a),(b)は、代表6点の大潮、小潮時の振幅と遅角を、現況・将来地形時について対比したものである。これからは、振幅、遅角とも空港建設による有意な影響は認められない。

6.2. 潮流変化の検討

図-21,22はそれぞれ大潮・将来地形時計算における家島北海域の西流最強時、東流最強時の潮流図を、図-23,24はそれぞれ小潮・将来地形時計算における西流、東流最強時の潮流図を示すものである(巻末資料3および資料4参照)。これから明らかなように、空港の極く近傍では流向が変化し、流れの上手、下手側では減速、迂回部で増速する。しかし、空港周辺(10Km)を除く領域については空港埋立による影響はほとんど認められない。これらの比較をさらに詳細に示すため、同海域代表10点(図-1)について現況地形と将来地形時の潮流を

表-7 空港等建設による潮汐変化
(a) 大潮

地点	メッシュ番号 (i, j)	計算値(現況)		計算値(将来)		現況計算値と 将来計算値との比較	
		振幅 ^(cm) (H)	遅角 ^(時:分) (κ)	振幅 ^(cm) (H')	遅角 ^(時:分) (κ')	H'/H	κ'-κ ^(分)
引田	(33, 23)	49.2	4:35	48.6	4:35	0.988	0
坂手	(25, 16)	51.2	4:25	50.6	4:25	0.988	0
洲本	(22, 37)	45.8	0:10	46.2	0:10	1.009	0
大阪	(5, 50)	48.3	0:35	54.9	0:25	1.137	-10
姫路	(8, 22)	40.6	4:10	40.6	4:10	1.000	0
男木島	(28, 7)	72.2	4:25	71.6	4:25	0.992	0

(b) 小潮

地点	メッシュ番号 (i, j)	計算値(現況)		計算値(将来)		現況計算値と 将来計算値との比較	
		振幅 ^(cm) (H)	遅角 ^(時:分) (κ)	振幅 ^(cm) (H')	遅角 ^(時:分) (κ')	H'/H	κ'-κ ^(分)
引田	(33, 23)	31.2	4:50	31.0	4:40	0.994	-10
坂手	(25, 16)	32.6	4:40	32.3	4:40	0.991	0
洲本	(22, 37)	13.3	0:10	13.4	0:10	1.008	0
大阪	(4(5), 50)	18.5	0:40	17.6	0:50	0.951	-10
姫路	(8, 22)	28.2	4:25	28.2	4:25	1.000	0
男木島	(28, 7)	41.4	4:35	41.1	4:35	0.993	0

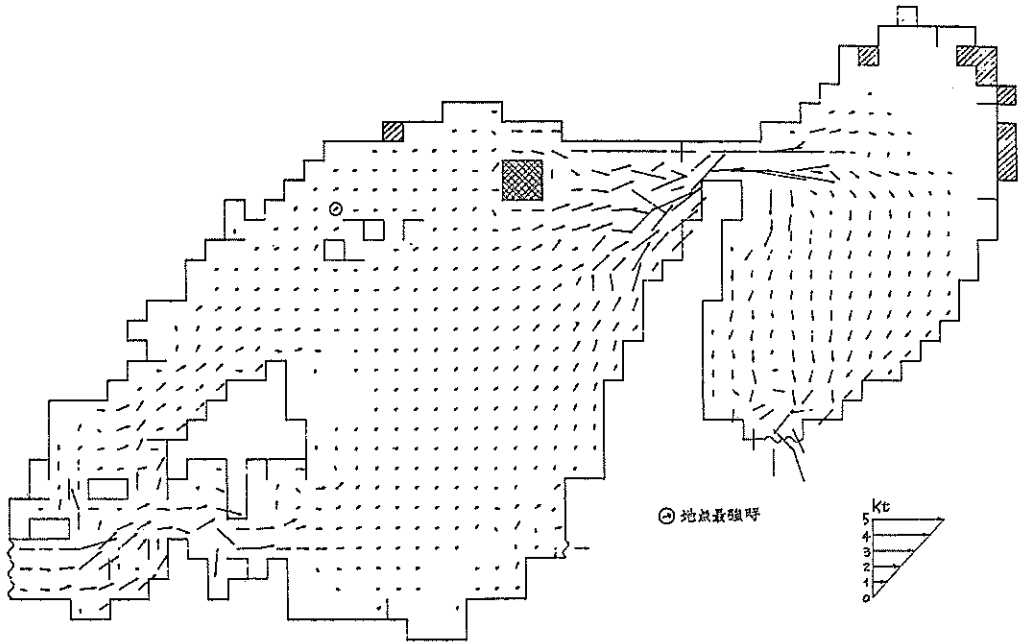


圖-21 計算潮流（将来，大潮，東流最強時）

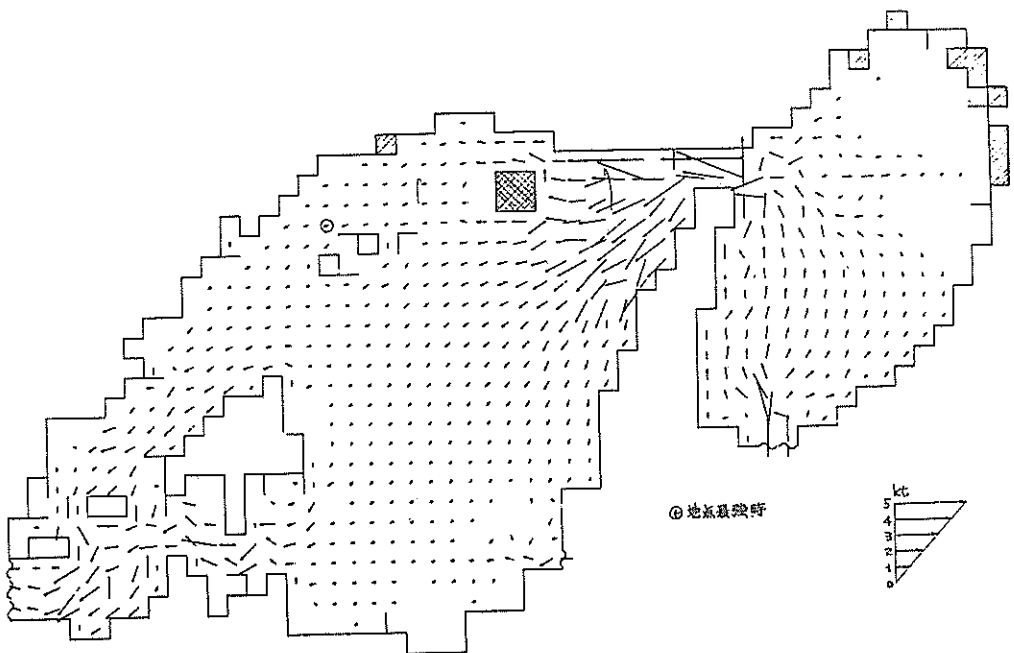


圖-22 計算潮流（将来，大潮，西流最強時）

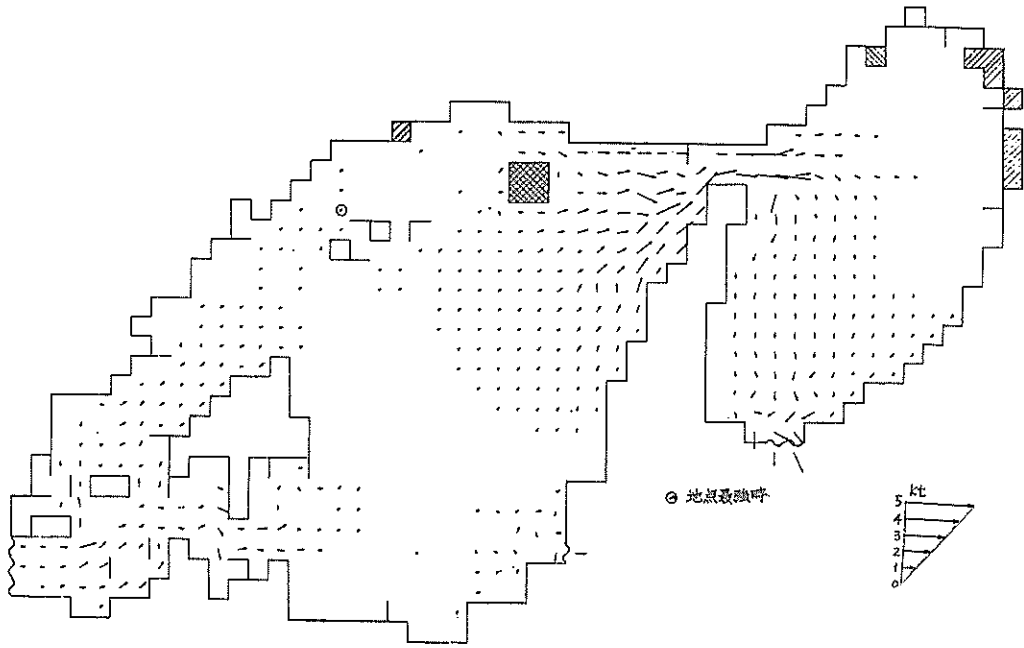


图-23 計算潮流（将来，小潮，東流最強時）

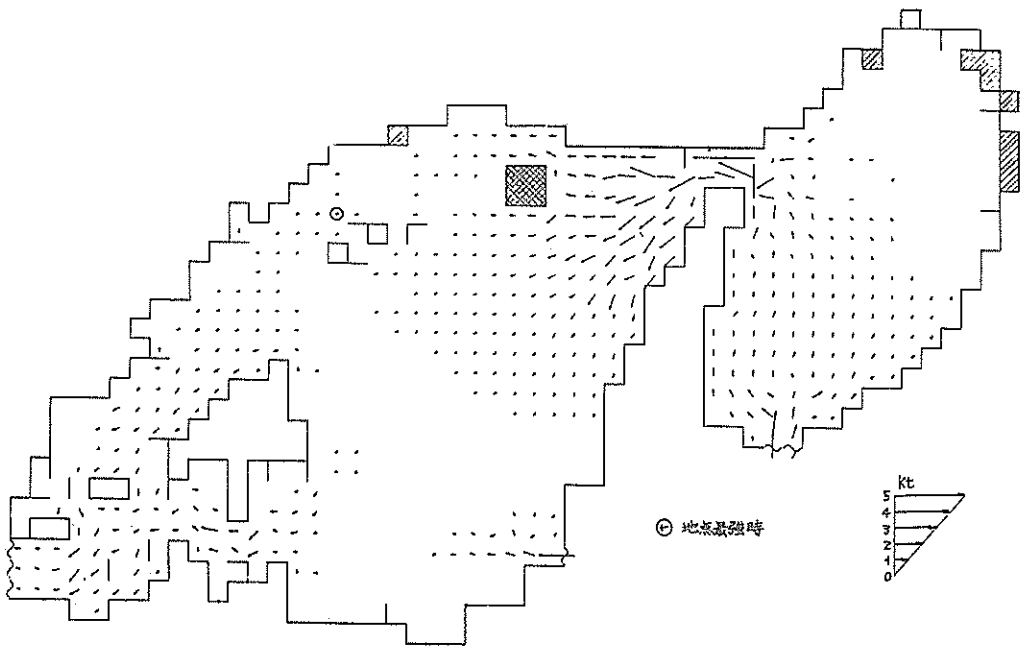


图-24 計算潮流（将来，小潮，西流最強時）

対比したものが表-8である。これによると、大潮、小潮の両ケース共、流向変化はほとんどなく、流速変化も高々0.3ノット(0.15m/sec)程度であることがわかる。

したがって、これらの潮流変化は船舶航行その他に対して有意な影響をもたらずとは思われない。

6.3. 拡散変化の検討

(1) 初期濃度全域ゼロのケースについて

海域の初期濃度をゼロとした場合、大潮20,40,60潮汐での現況及び将来地形の濃度分布比較を図-25(1)(2)(3)に示す。

表-8 空港等建設による潮流変化

比較水域		イ	ロ	ハ	ニ	ホ	ヘ	ト	チ	リ	ヌ
検討ケース		明石海峡	明石海峡	播磨灘候補地東	播磨灘候補地東	鹿ノ瀬南	播磨灘候補地北	播磨灘候補地南	播磨灘候補地西	播磨灘中央部	家島諸島西
大潮	西流 現況	W 2.6	NW 2.8	NW 2.3	NW 1.3	W 1.8	NW 0.5	NW 0.6	W 0.4	W 0.4	W 0.3
	西流 将来	W 2.6	NW 2.8	NW 2.2	NW 1.1	W 1.8	NW 0.8	NW 0.8	W 0.3	W 0.4	W 0.3
東流	東流 現況	SE 2.2	SE 2.7	SE 2.4	SE 1.4	E 1.2	E 0.4	SE 0.4	SE 0.3	E 0.4	E 0.2
	東流 将来	SE 2.1	SE 2.7	SE 2.4	SE 1.2	E 1.2	E 0.7	SE 0.6	SE 0.3	E 0.4	E 0.2
小潮	西流 現況	W 1.6	NW 1.6	NW 1.1	NW 0.8	W 0.9	NW 0.3	NW 0.3	W 0.2	W 0.2	W 0.2
	西流 将来	W 1.7	NW 1.4	NW 1.2	NW 0.4	SW 1.0	NW 0.4	NW 0.4	W 0.2	W 0.2	W 0.2
東流	東流 現況	SE 1.3	SE 1.4	SE 1.3	SE 0.8	E 0.7	SE 0.2	SE 0.3	SE 0.2	E 0.2	E 0.1
	東流 将来	SE 1.3	SE 1.4	SE 1.3	SE 0.7	E 0.7	SE 0.4	SE 0.3	E 0.2	E 0.2	E 0.1
メッシュ番号 (i, j)		(9, 38)	(10, 38)	(10, 33)	(10, 31)	(14, 32)	(9, 27)	(12, 27)	(11, 24)	(19, 26)	(12, 27)

単位：ノット

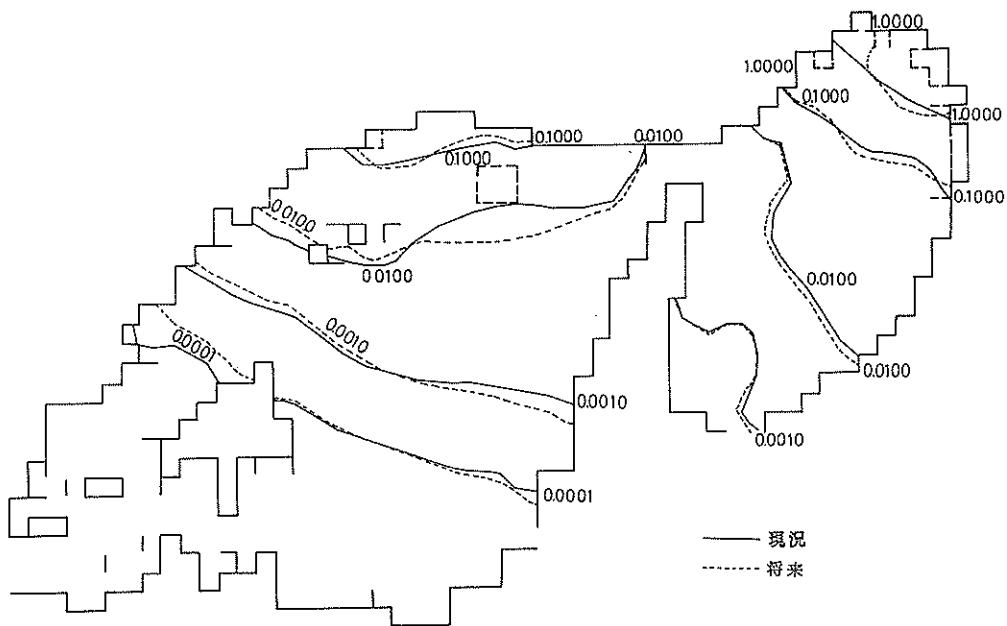


図-25(1) 計算濃度分布(大潮 初期濃度(0), 20潮汐)(単位ppm)

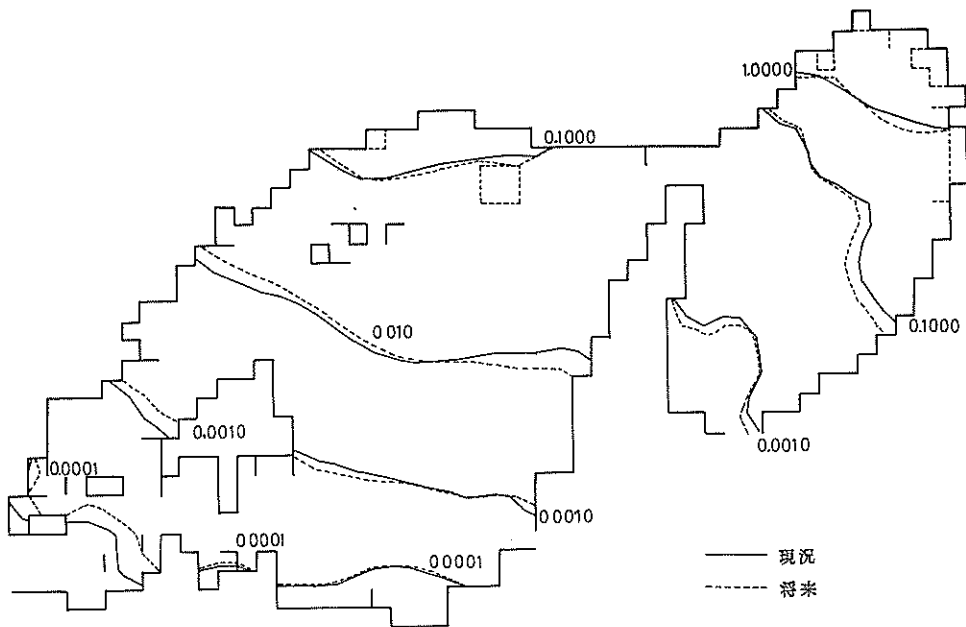


圖-25 (2) 計算濃度分布 (大潮, 初期濃度(0), 40 潮汐) (單位 ppm)

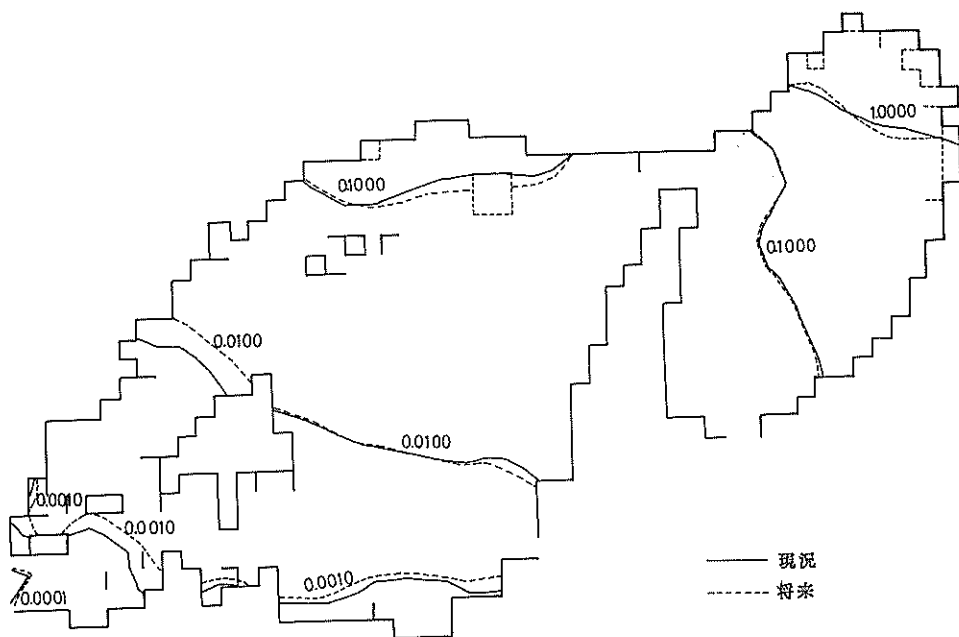


圖-25 (3) 計算濃度分布 (大潮, 初期濃度(0), 60 潮汐) (單位 ppm)

これより、各潮汐ごとの現況地形時と将来地形時の間における濃度分布の差異はつぎのとおりである。

(イ) 20 潮汐目 (図-25 (1))

現況時と将来時における濃度分布の相異は汚濁物質の負荷地点に近い海域、すなわち濃度の高い海域に現われている。空港埋立地周辺では、空港により空港北側の拡散が遅れ、逆に南側では促進される傾向がみられる。さらに、大阪湾湾奥部においては、将来の等濃度線がやや南に張出して現況より拡散が進んでいるようであるが、これは将来時計算において汚濁負荷地点が海域側に前進するために生じた影響と考えられる。一方、負荷点から離れた濃度の低い海域では、小豆島と本州との間で将来時における拡散が現況時に比してやや遅れる傾向があるほかは、播磨灘、大阪湾ともに、現況時と将来時の差異はほとんどないといえる。

(ロ) 40 潮汐目 (図-25 (2))

拡散が進行するにしたがって汚濁負荷地点附近の高濃度領域における地形の影響は次第に小さくなり、20 潮汐目にみられた空港埋立地周辺及び大阪湾湾奥部における現況時と将来時の差異は小さくなる。汚濁負荷地点より離れた低濃度領域については、将来時が現況時に比べて

小豆島-本州海域で遅れ、大阪湾東寄り進む傾向がみられる。

(ハ) 60 潮汐目 (図-25 (3))

現況と将来地形時における濃度分布の相異はさらに小さくなり、小豆島-本州間の海域で将来のケースが遅れるのを除けば、空港埋立による拡散への影響は空港の極く周辺に限られると考えてよさそうである。

以上の結果から、拡散の極く初期の段階(20 潮汐目位まで)では、空港及び港湾埋立などの地形変化に伴う周辺部の拡散パターンに若干の影響が認められるが、時間が経過して海域の濃度分布が平衡状態に近づくにしたがって、その影響が小さくなるものと予測される。

濃度分布が平衡に達した状態での地形変化による拡散への影響については、つぎの定常解を初期値とする計算によっても確かめることができる。

(2) 定常解を初期濃度に用いたケース(大潮)について

図-26 (1),(2),(3) は定常解を初期濃度とした大潮時の10, 20 及び30 潮汐目の濃度分布を現況、将来時について示したものである。これより、現況と将来地形時の濃度分布の相異はつぎのとおりである。

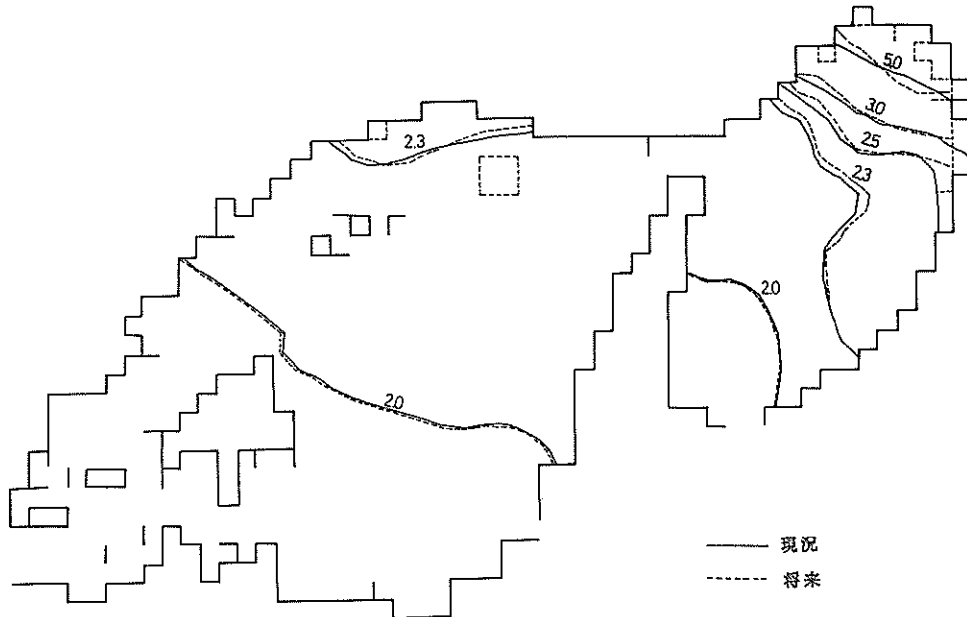


図-26(1) 計算濃度分布(大潮, 初期濃度(定常解), 10 潮汐)(単位 ppm)

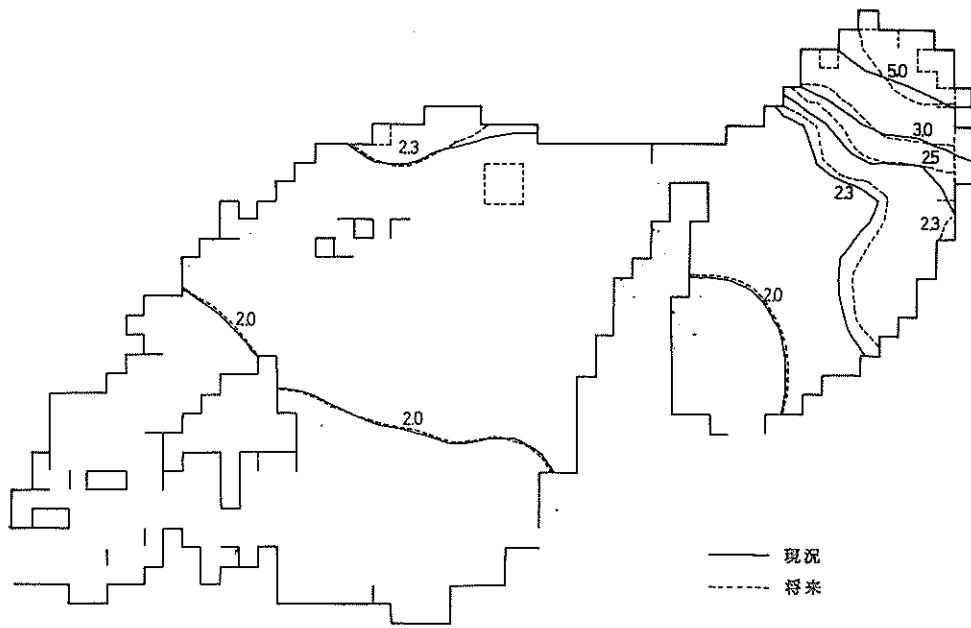


圖-26(2) 計算濃度分布(大潮, 初期濃度(定常解), 20潮汐)(單位ppm)

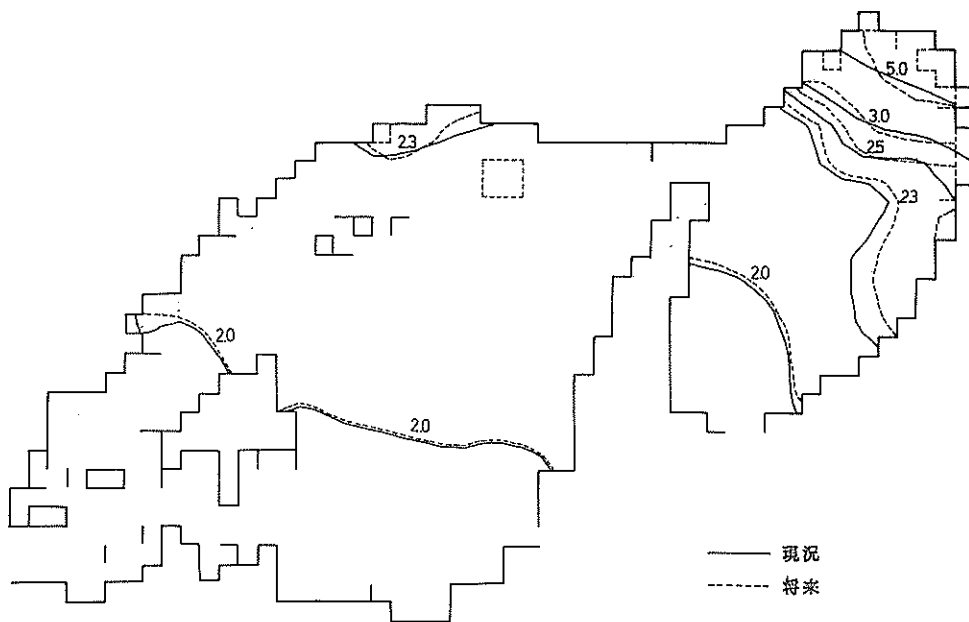


圖-26(3) 計算濃度分布(大潮, 初期濃度(定常解), 30潮汐)(單位ppm)

(イ) 10 潮汐目 (図-26(1))

播磨灘側では空港の北部でやや拡散の遅れる領域が認められるが、中南部の海域では地形変化による拡散分布への影響はほとんどない。これに対し、大阪湾側では拡散が遅れる傾向にあり、(1)の初期濃度ゼロの場合と逆の傾向を示している。

(ロ) 20 潮汐目 (図-26(2))

播磨灘側では中央部の 2.0 ppm コンターが 10 潮汐目と比べて 1 メッシュ (2.5 Km) 程度南下している。大阪湾側では 2.0 ppm と 2.3 ppm のコンターが逆に湾奥部に 1 メッシュ程度移動している。これは初期値として与えられた定常解が非定常計算で修正されているために起こる現象である。20 潮汐時における現況と将来地形との間の濃度分布の相異は 10 潮汐目のそれと大差ない。

(ハ) 30 潮汐目 (図-26(3))

播磨灘側の 2.0 ppm コンターが、小豆島寄りで 20 潮汐目に比して 1~2 メッシュ程度再び南下している。大阪湾側では、2.3 ppm コンターが 1 メッシュ程度湾奥側に移動しているほかは 20 潮汐目と大差ない。また、空港等の埋立による影響は播磨灘側では空港埋立地北の一部海域に現われる程度である。大阪湾側では 2.3 ppm のコン

ターが 0.5~1 メッシュ程度現況より湾奥側にあり拡散が遅れ、初期濃度 0 より計算をはじめた(1)のケースとは逆傾向を示している。

(3) 定常解を初期濃度に用いたケース (小潮) について

図-27 (1),(2),(3) は定常解を初期値とした小潮時の 10、20 及び 30 潮汐目の濃度分布を現況、将来地形時について示したものである。これらの図より明らかなように、小潮では潮流が大潮に較べて全体的に $1/2 \sim 2/3$ 程度に低下して流れによる移流分散、拡散が減少するため、濃度分布はほとんど変化せず、初期濃度に支配される度合いが大潮の場合よりも大きい。このことは、図-27 (1),(2),(3) において潮汐数が増加しても濃度分布がほとんど変化せず、初期濃度として与えた定常解の分布 (図-4) とほぼ同一パターンを呈していることから知ることができる。したがって、空港や港湾埋立などの地形変化による拡散への影響は小潮計算からは把握し難いほど微小である。

7. ま と め

播磨灘候補地空港埋立案に伴う同海域の潮流並びに汚濁拡散の数値計算から、数値モデルの再現性、空港埋立

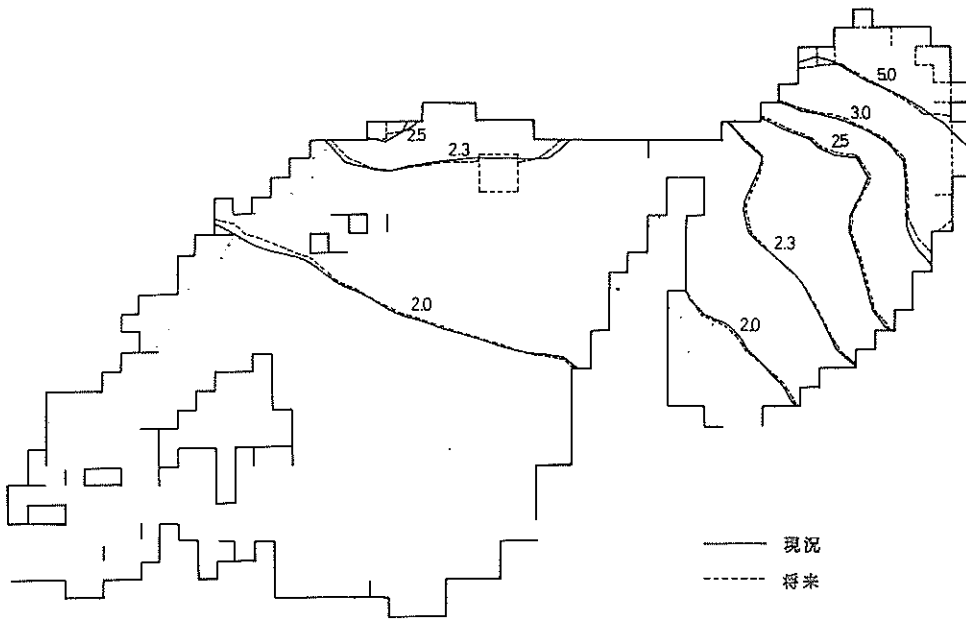


図-27(1) 計算濃度分布 (小潮, 初期濃度 (定常解), 10 潮汐) (単位 ppm)

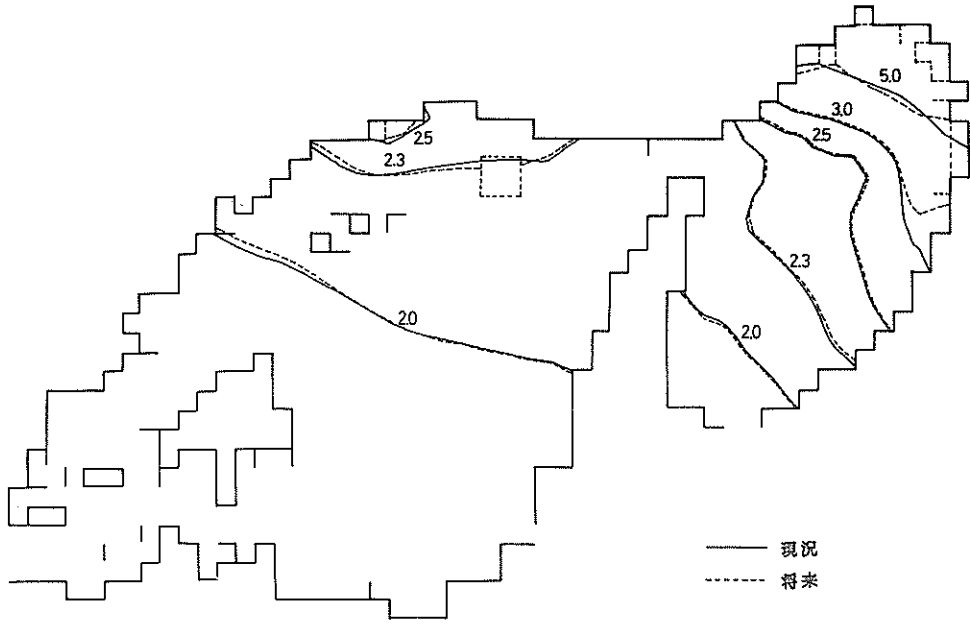


圖-27(2) 計算濃度分布 (小潮, 初期濃度 (定常解), 20 潮汐) (單位 ppm)

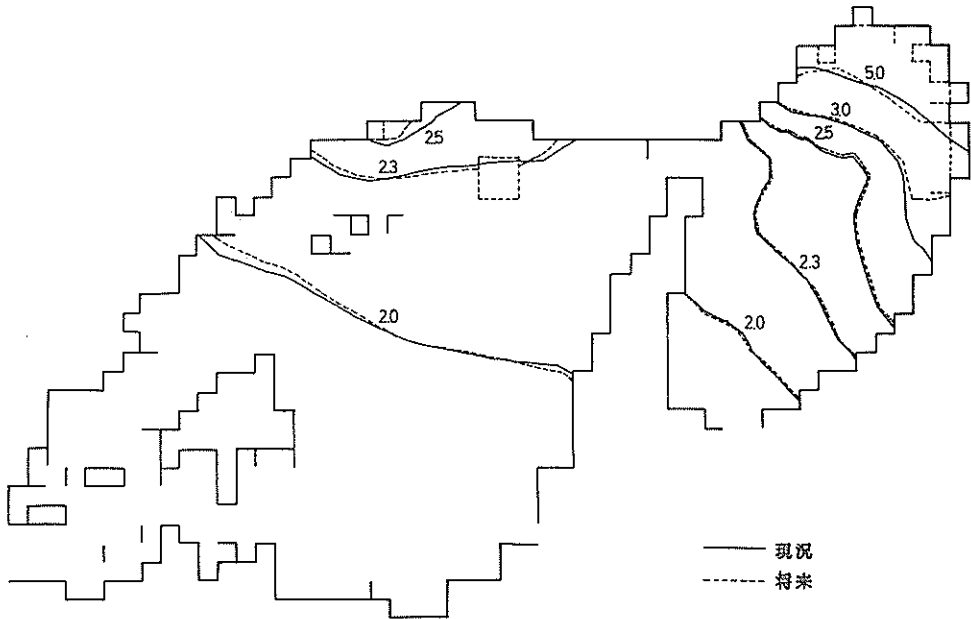


圖-27(3) 計算濃度分布 (小潮, 初期濃度 (定常解), 30 潮汐) (單位 ppm)

地等の潮流と汚濁拡散に及ぼす影響等に関し、つぎの諸点が明らかになった。

数値モデルの再現性について

- (1) 計算より得られる潮汐の振幅、遅角を潮汐調和定数値 (M_2, S_2, μ_2) と比較すれば、大潮については、振幅で 10% 以内、遅角で 5 分 (時間) 以内の誤差に入っており再現性はよい。一方、小潮については、振幅において、姫路、大阪等の湾奥部で 30% 弱、引田、坂手で 20% 弱それぞれ過大となり、遅角も姫路、引田、坂手で 10 ~ 20 分調和定数値より遅れている。このことから、小潮の再現性は大潮に較べて劣る。
- (2) 大潮の場合流向パターンは観測潮流図と同傾向を示し、流速については播磨灘中央部で過小 (1/2 程度)、鳴門海峡で 1/5 以下であるが、その他の領域に対してはほぼ同程度の値である。小潮の場合観測潮流図がないため比較できないが、流向は大潮の場合とほぼ同一であり、流速は 40% 減程度となる。
- (3) 汚濁拡散については、大阪湾沿岸及び神戸を主汚濁源とする大阪湾の東高西低型の分布と、姫路、加古川を汚濁源とする播磨灘の北高南低型の分布が現われる。この分布のパターンは現況 COD 分布図 (8~10 月) と類似しているが、定量的には一致しない。
空港及び港湾埋立による潮流と汚濁拡散への影響について
- (4) 潮位、遅角は大潮、小潮の両場合とも、空港埋立による有意な影響は認められない。
- (5) 潮流については、空港埋立により潮流上手側における流向変化及び周辺における高々 0.3 ノット (0.15 m/sec) 程度の流速の増減が生ずるが、航行船舶への影響はほとんどないと思われる。
- (6) 初期濃度 0 のケース (大潮) では、拡散の初期 (20 潮汐位まで) では、空港及び港湾埋立などの地形変化に伴う周辺部の拡散パターンに若干の影響が認められるが、時間の経過とともにその影響は小さくなる。
- (7) 定常解を初期値としたケース (大潮) では、空港埋立地北の一部海域で遅れる程度である。大阪湾側では中濃度領域 (2.3 ppm) のコンターが現況に較べ 1 ~ 3 Km 程度湾奥側にあり拡散が遅れる。
- (8) 定常解を初期値としたケース (小潮) では、潮流が大潮の 1/2 ~ 2/3 程度に低下して流れによる移流及び拡散が減少するため、濃度分布はほとんど変化せず、むしろ初期濃度に支配される度合いが強い。したがって、この程度の地形変化に対しては、小潮時の拡散への影響は見極め難い。
- (9) 以上の数値計算から、播磨灘及び大阪湾の潮流と汚

濁拡散に対し、空港埋立や港湾埋立の有意な影響があると断言できる結果は認められない。

8. あとがき

播磨灘候補地の空港埋立案に関連して、同海域の潮流と汚濁拡散の数値計算によりその影響を検討したが、特に海水汚濁問題は、その実態が未だ十分把握されておらず、観測データも十分とは言えない。本計算では時間減衰のない保存系物質の拡散を取扱っているが、この種の計算の適切な数値モデルは、現地観測及び分析による明確な実態把握に立脚すべきものである。今後、海水流動、汚濁特性、拡散係数、自浄係数、汚濁負荷量などを主体とした現地調査を推進し、適確な現況把握をした上でこの種の解析を進めてゆく必要がある。また、必要に応じて水理模型実験を行って計算結果の検証や補正をすることも数値モデルの開発改良に対して有効である。

最後に、本調査は昭和 48 年度に運輸省港湾技術研究所海洋水理部海水汚染水理研究室の指導のもとに、同航空局関西国際空港計画室が実施し、同港湾技術研究所がとりまとめたものである。なお、本調査のうち計算については (株) 日本アイ・ビー・エムに委託した。本調査を遂行するにあたって瀬戸内海の水質に関するデータを御提供いただき、また、定常解を利用することについて快諾いただいた環境庁水質保全局の関係各位に深く感謝する次第である。 (1975 年 12 月 10 日受付)

参考文献

- 1) 金子安雄・堀江毅・村上和男他：大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験，港湾技術研究所報告，第 12 巻 3 号，昭和 48 年 9 月。
- 2) 運輸省航空局：大阪湾における潮流及び水質汚染の拡散パターンに対する調査報告書，昭和 50 年 3 月。
- 3) 環境庁水質保全局：瀬戸内海水質汚濁総合調査，昭和 48 年。
- 4) 西村肇：沿岸海洋の汚染に及ぼすシュンセン埋立工事の影響，土と基礎，22-9(199)，1974.9。
- 5) 堀江毅・金子安雄・村上和男：潮流の数値シミュレーションについて—特に境界条件と支配因子の取扱い—，昭和 50 年度 港湾技術研究所講演会講演集，運輸省港湾技術研究所，1975.12，P53-90。
- 6) 環境庁水質保全局：瀬戸内海水質汚染シミュレーション報告書，昭和 49 年 3 月。
- 7) 海上保安庁水路部：海図第 106 号，大阪湾及び播磨灘，昭和 45 年 2 月。

付録 1. 定常解モデルの誘導⁵⁾

潮汐流のような周期性をもつ流動場での拡散を取扱う場合、拡散方程式(4)中の H, M, N などは周期性を有しており、単位時間当りの負荷量 Q が一定であれば、時間 t が、 $t \rightarrow \infty$ において濃度 C も近似的に周期性を有するものと考えられる。すなわち、流動場の周期を T とすれば、

$$C(t+T) = C(t) \quad (\text{A-1})$$

である。ここで濃度の一周期当りの平均濃度 \bar{C} を、

$$\bar{C} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} C(t) dt \quad (\text{A-2})$$

と定義して、 $t_0 \rightarrow \infty$ において式 (A-2) を $t_0 \leq t \leq t_0 + T$ にわたって積分し、定常的な式に変換する。

いま、一周期間の平均値には $(\bar{\quad})$ を、平均値からの変動量には (\quad') を付けて H, M, N, C などを表わせば、

$$\left. \begin{aligned} H(t) &= \bar{H} + H'(t) \\ M(t) &= \bar{M} + M'(t) \\ N(t) &= \bar{N} + N'(t) \\ C(t) &= \bar{C} + C'(t) \end{aligned} \right\} \quad (\text{A-3})$$

となり、さらに平均値の定義より、

$$\left. \begin{aligned} \int_{t_0}^{t_0+T} H'(t) dt &= 0 \\ \int_{t_0}^{t_0+T} M'(t) dt &= 0 \\ \int_{t_0}^{t_0+T} N'(t) dt &= 0 \\ \int_{t_0}^{t_0+T} C'(t) dt &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{A-4})$$

となる。

したがって、連続方程式(3)より、

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (\text{A-5})$$

であること、および $H'(\partial C'/\partial t)$, $H'(\partial C'/\partial x)$, ...
...などを無視すれば、拡散方程式(4)において、

左辺は、

$$\begin{aligned} & \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \left\{ \frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial(MC)}{\partial x} + \frac{\partial(NC)}{\partial y} \right\} dt \\ &= \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \left\{ H \frac{\partial C}{\partial t} + M \frac{\partial C}{\partial x} + N \frac{\partial C}{\partial y} \right\} dt \\ &= \bar{M} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + \bar{N} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} + \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} M' \frac{\partial C'}{\partial x} dt + \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} N' \frac{\partial C'}{\partial y} dt \end{aligned} \quad (\text{A-6})$$

さらに、

右辺は、

$$\begin{aligned} & \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (K_x H \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y H \frac{\partial C}{\partial y}) + Q \right\} dt \\ &= \frac{1}{T} \left[\int_{t_0}^{t_0+T} \frac{\partial}{\partial x} \{ K_x (\bar{H} + H') \} \frac{\partial}{\partial x} (\bar{C} + C') \right] dt \\ & \quad + \int_{t_0}^{t_0+T} \frac{\partial}{\partial y} \{ K_y (\bar{H} + H') \} \frac{\partial}{\partial y} (\bar{C} + C') \right] dt + \int_{t_0}^{t_0+T} Q dt \\ &= \frac{\partial}{\partial x} (K_x \bar{H} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \bar{H} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y}) + Q \end{aligned} \quad (\text{A-7})$$

となる。

したがって式 (A-6), (A-7) より、

$$\begin{aligned} & \bar{M} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + \bar{N} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \bar{H} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \bar{H} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y}) \\ & - \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} M' \frac{\partial C'}{\partial x} dt - \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} N' \frac{\partial C'}{\partial y} dt + Q \end{aligned} \quad (\text{A-8})$$

となり、式 (A-8) 右辺第 3, 4 項に対し、

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} M' \frac{\partial C'}{\partial x} dt &= \frac{\partial}{\partial x} (K_{x0} \bar{H} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}) \\ -\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} N' \frac{\partial C'}{\partial y} dt &= \frac{\partial}{\partial y} (K_{y0} \bar{H} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y}) \end{aligned} \right\} \quad (\text{A-9})$$

と仮定すれば、式(A-8)は式(5)となる。

ここに、 K_{x0} 、 K_{y0} は流量 M 、 N および濃度 C の 1 潮時間の平均値からの変動量に基づく拡散係数とする。

付録 2. 定常解を初期値として非定常計算を行う場合の問題点

最も一般的な拡散計算では、計算領域内の初期濃度を全域 0 とし、汚濁源からの負荷による濃度分布を時間的に追跡してゆく、いわゆる非定常解モデルに依ることが多い。この手法は、水理模型による拡散実験で清水（又は海水）中などにトレーサーを投入して拡散パターンを調べるのに対応している。このような非定常モデルでは、ある特定汚濁源からの拡散速度や分布の時間変化などを追跡する場合は有効である。しかし、求められる濃度分布は現実の海域の汚濁濃度分布に比べて濃度値が低いか、または、汚濁源から外海境界に至る濃度勾配がかなり大きく、計算時間を延長しても各点の濃度上昇が継続する。現実の海域では、季節変化、日変化はあっても、沿岸からの汚濁負荷量、海域での自浄量、生産量、境界よりの流入出力が収支バランスして、海域では擬似的な平衡濃度分布状態が一定時間形成される。このような平衡状態は、非定常計算においても境界濃度の処置を適当に行つて長時間計算を継続することにより達成できると考えられる。ところが、平衡濃度分布に達するまでの所要時間は極めて大きい。保存系物質（すなわち減衰を考慮しない物質）の拡散計算で、1000 潮汐の計算においてもなお各点濃度が僅かながら上昇傾向にあったという経験例さえある。そこで、拡散計算を、現実の濃度分布に近い濃度レベルで行いたい、あるいは、可能な限り短時間に平衡濃度分布に近づけて行いたいという要望から、関係者等の手によって 2, 3 提案されている。それらの主なものは、

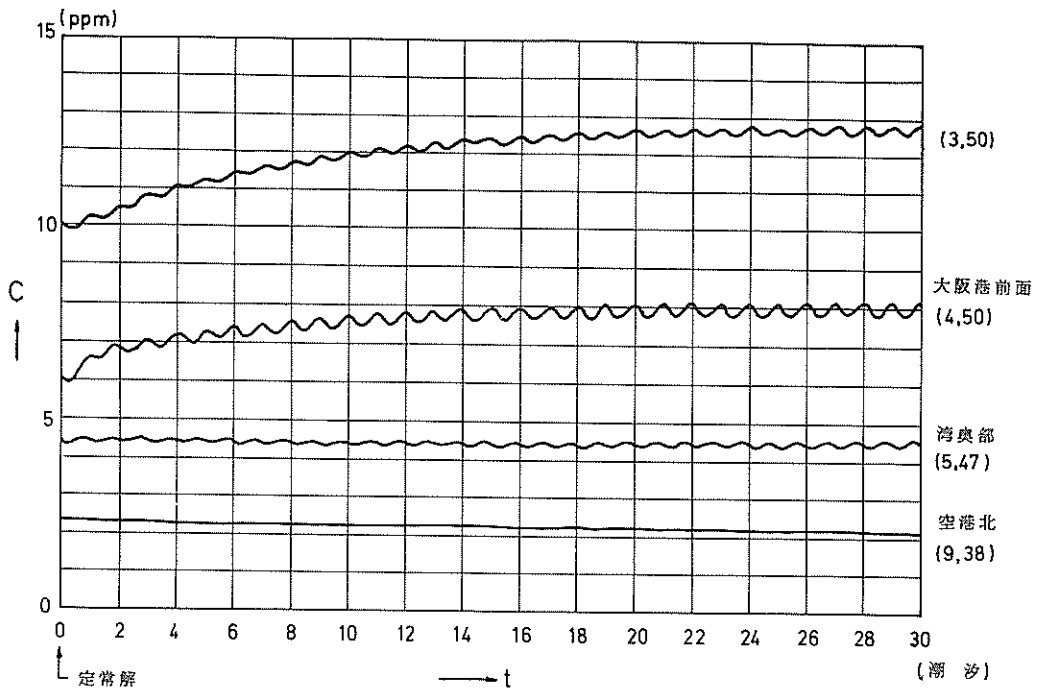
- i) 初期値の操作
- ii) 境界濃度の操作
- iii) 定常解モデルの開発

などである。i)には、現地観測による濃度分布を与えること、適当な解析解又は数値をあてはめること、あるいは iii)の定常解モデルによること、さらに、全域一律に一定濃度のレベルアップをすること、などの方法がある。そして ii)では、初期濃度に対応して、境界で一定の濃度を与えて固定したり、濃度勾配をつけたりする。さらに iii)では、非定常解モデルに依らないで最初から定常

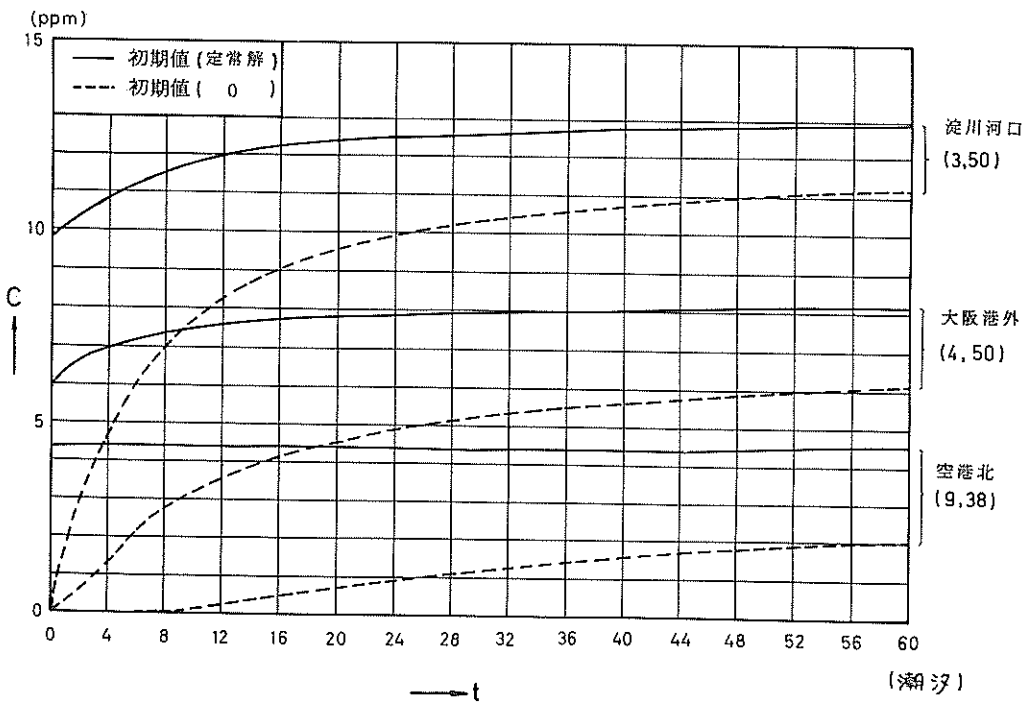
解モデルにより、平衡濃度を求めようとするものである。定常解モデルとしては、付録 1.に述べたものが代表的なものであるが、このモデルの誘導過程を調べれば明らかのように、式のと扱いや、拡散係数の決定に未解明な点があり、定常解モデルによる解が、非定常解モデルで計算時間を無限に大きくした場合に得られる解になるという保証はない。この事実を確かめるため、本拡散計算で用いた環境庁の定常解モデルによる解を初期値として非定常解を行つた場合の代表 4 点における濃度—時間曲線を付図-1に示す。この図から判るように、大阪湾湾奥部(5, 47)に対しては、30 潮汐の非定常計算によつてもその濃度は初期値の定常解からほとんど変化しないが、大阪港先面(4, 50)および淀川河口部(3, 50)においては、10 潮汐付近までは急激な濃度上昇があり、それ以後は徐々に上昇しながら平衡濃度に漸近している。一方、播磨灘北側(9, 38)では、逆に極めてわずかではあるが濃度が一旦下降して平衡濃度に近づいている。このように、一般には、定常解モデルの解は非定常解モデルと一致しない。本拡散計算の初期値として定常解モデルを直接予測計算に用いず、一先づ 30 潮汐の非定常計算をしたのは、上述の定常解濃度分布と非定常モデルによつて修正することを意図したためである。

さて、つぎに本計算に用いた定常解を初期値とする非定常計算と、全域 0 を初期濃度とする非定常計算とによる濃度—時間曲線を淀川河口(3, 50)、大阪港前部(4, 50)、および空港北(9, 38)について比較したものが付図-2である。^{注)}これらの代表 3 点はいずれも高度汚濁源又はその近傍であるため、初期濃度 0 の場合(同図の破線)であっても 30 ~ 50 潮汐までに急激な濃度上昇があり、以後は徐々に平衡濃度に漸近する。これに対し、初期値に定常解を用いた場合(同図の実線)は、平衡濃度に到達するのがやや速いようである。なお、付図-2の代表 3 点は汚濁源近傍であるため、定常解を用いる場合の利点が顕著でないが、代表点を汚濁源から離れた外海側にとれば、定常解を用いた方がはるかに速く平衡濃度附近に近づくことが判る。付図-2において、それぞれの点での濃度が 60 潮汐においてもなお 2 ppm 前後異なるのは、初期濃度の相異のみでなく、拡散係数や境界濃度も両ケースで異なっているためであることに留意する必要がある。

注) 付図-2の濃度は、付図-1の場合と異なり、1 潮時の平均濃度で表わしている。このため、波状曲線ではなくて、滑らかな曲線となる。



付図-1 初期値(定常解)の時間変化



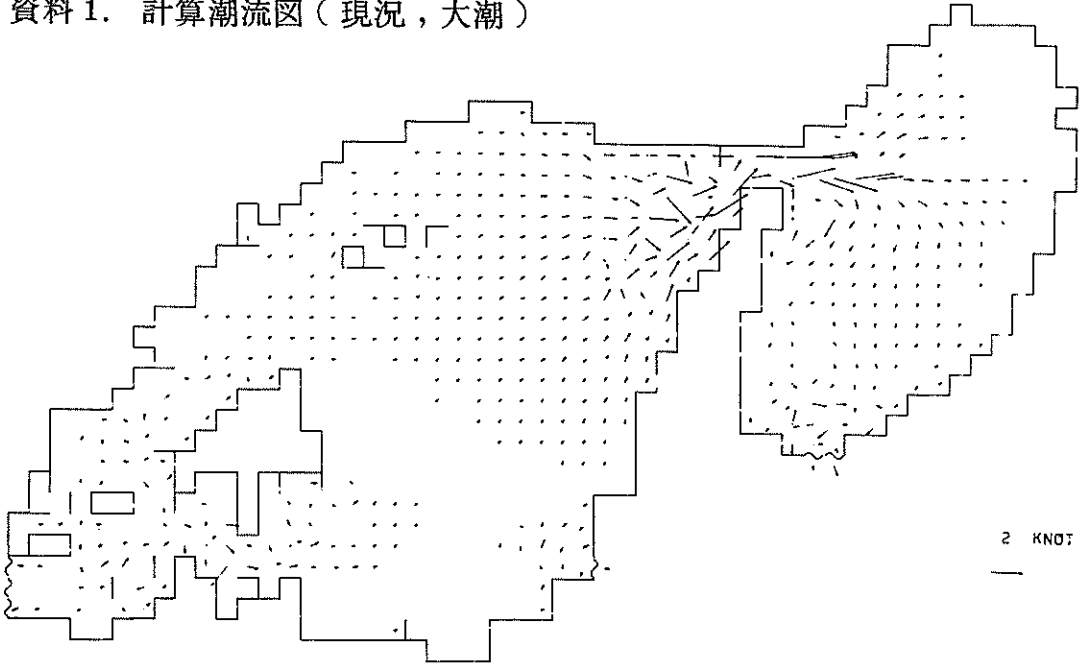
付図-2 初期値の相異による濃度時間変化

以上の結果から、定常解を初期値にして非定常計算を使う場合、つぎの利点又は問題点がある。

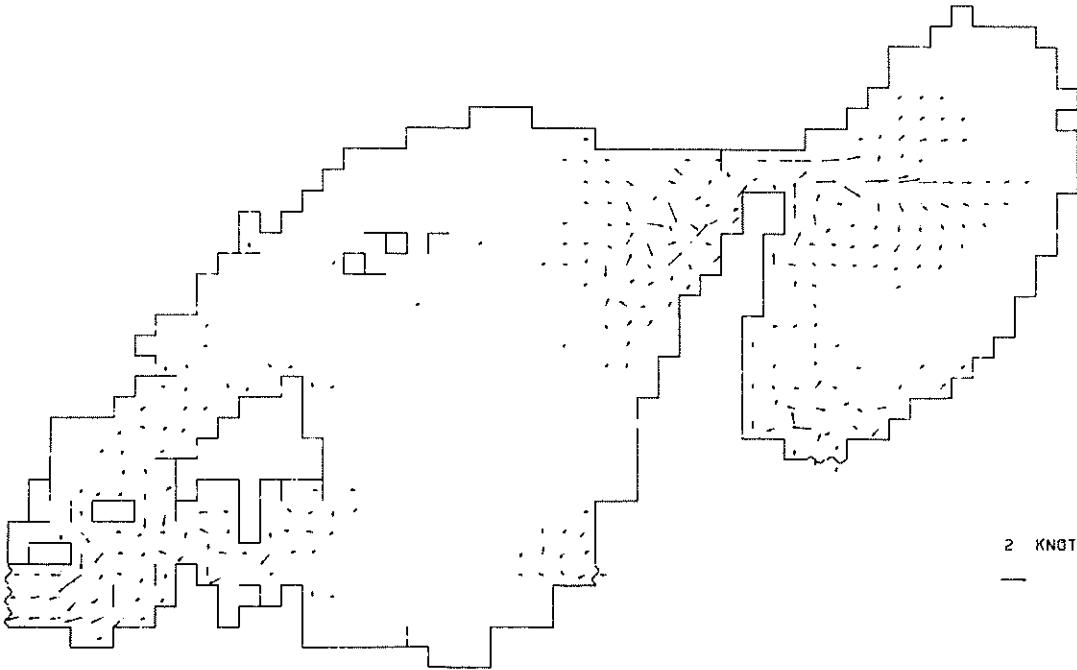
- i) 定常解モデルによる解と非定常解モデルによる解とは本質的に異なるものである。
- ii) しかし、定常解モデルによる解をある程度非定常解モデルで修正して、これを新たな初期値として用いるならば、平衡濃度に近い濃度レベルでの拡散計算ができ、さらに、
- iii) 平衡濃度に達するまでの所要時間は、低濃度領域においてその短縮効果がある。

なお、上記のような初期値の相違による解の収束性を調べる場合、境界濃度を同一にして（例えば、初期濃度 0 の場合でも、初期濃度に定常解を用いた場合と同一の境界濃度に固定する）比較をすれば、より明らかになったと思われる。今後は、以上の問題とも関連して、特に拡散計算モデルの改良と計算時間の短縮化を考えてゆく必要がある。

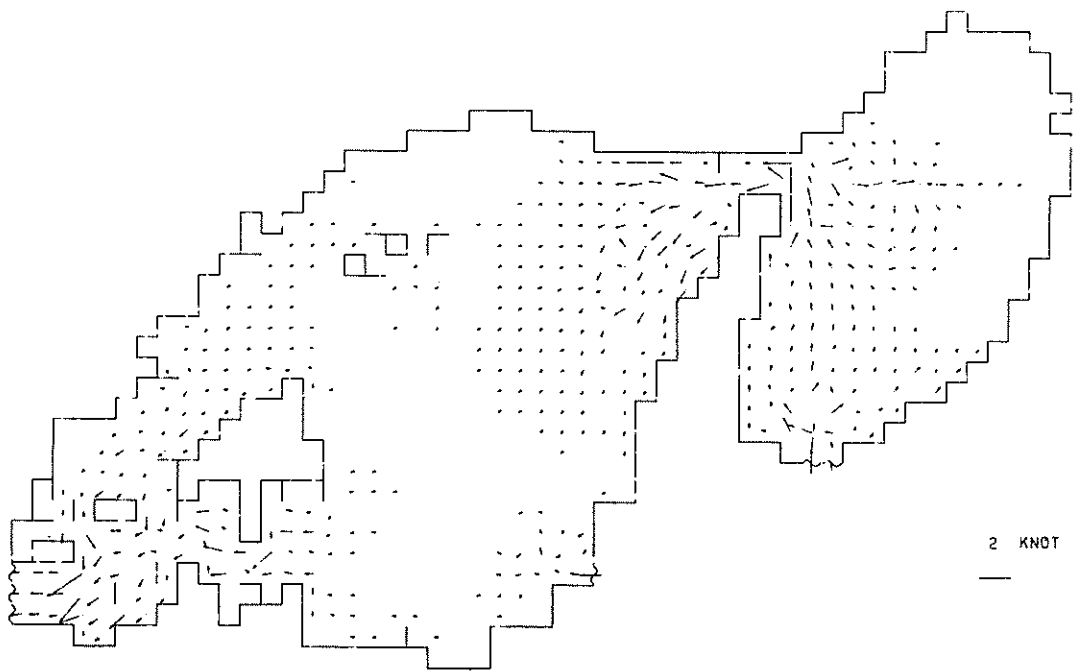
資料 1. 計算潮流図（現況，大潮）



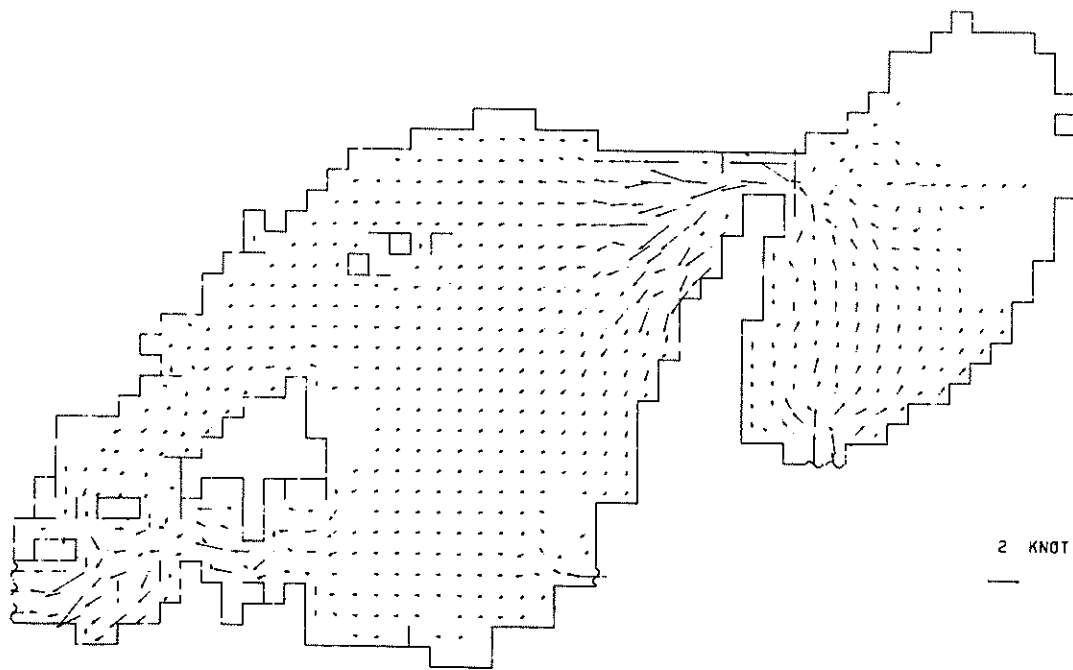
資 1 - (1) 計算潮流図（現況，大潮，48時）



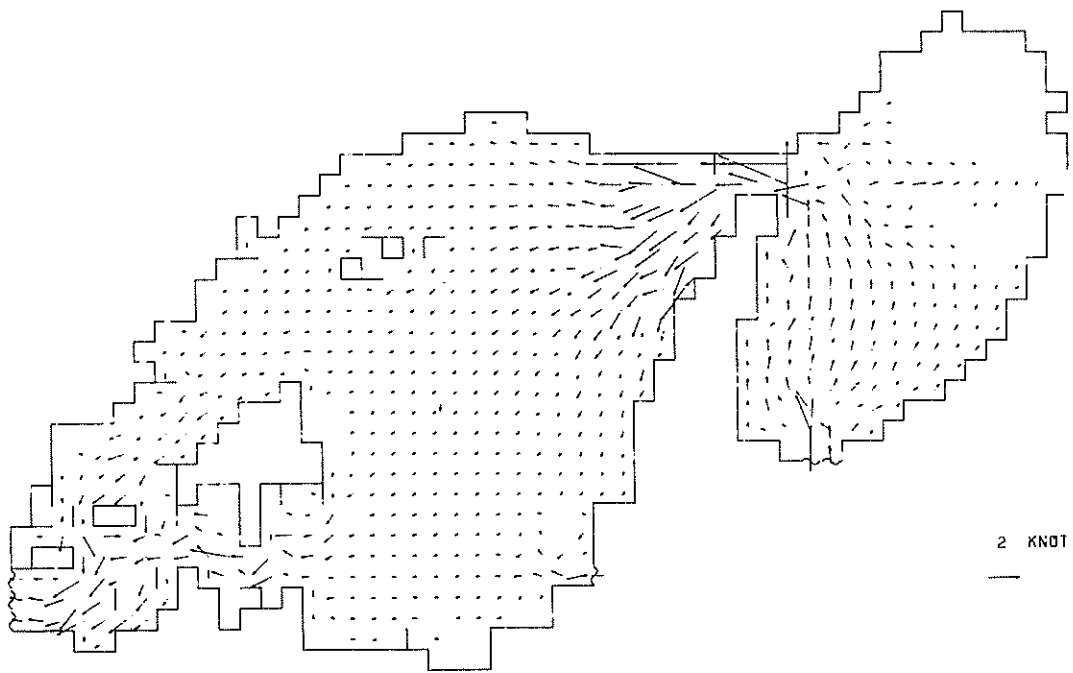
資 1 - (2) 計算潮流図（現況，大潮，49時）



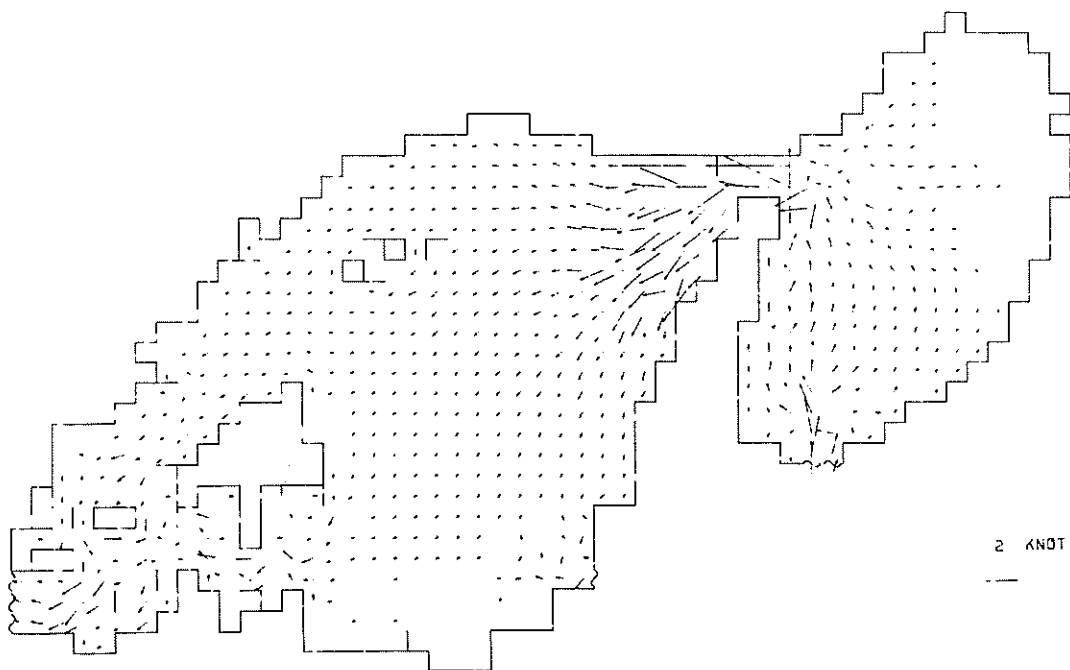
資 1-(3) 計算潮流図 (現況, 大潮, 50時)



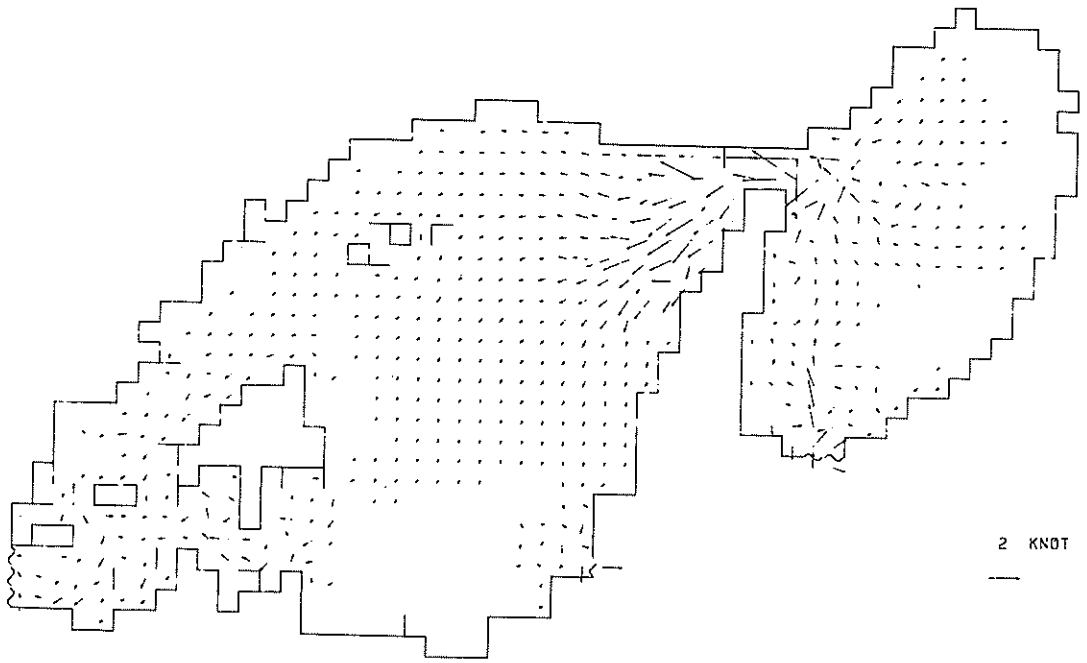
資 1-(4) 計算潮流図 (現況, 大潮, 51時)



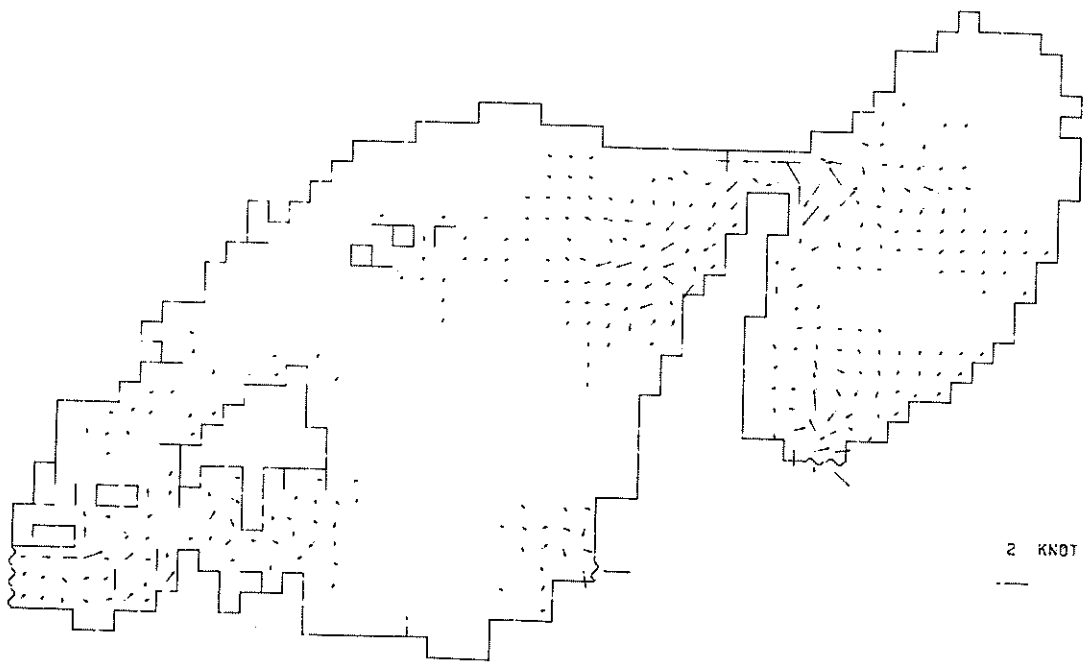
資 1-(5) 計算潮流図 (現況, 大潮, 52時)



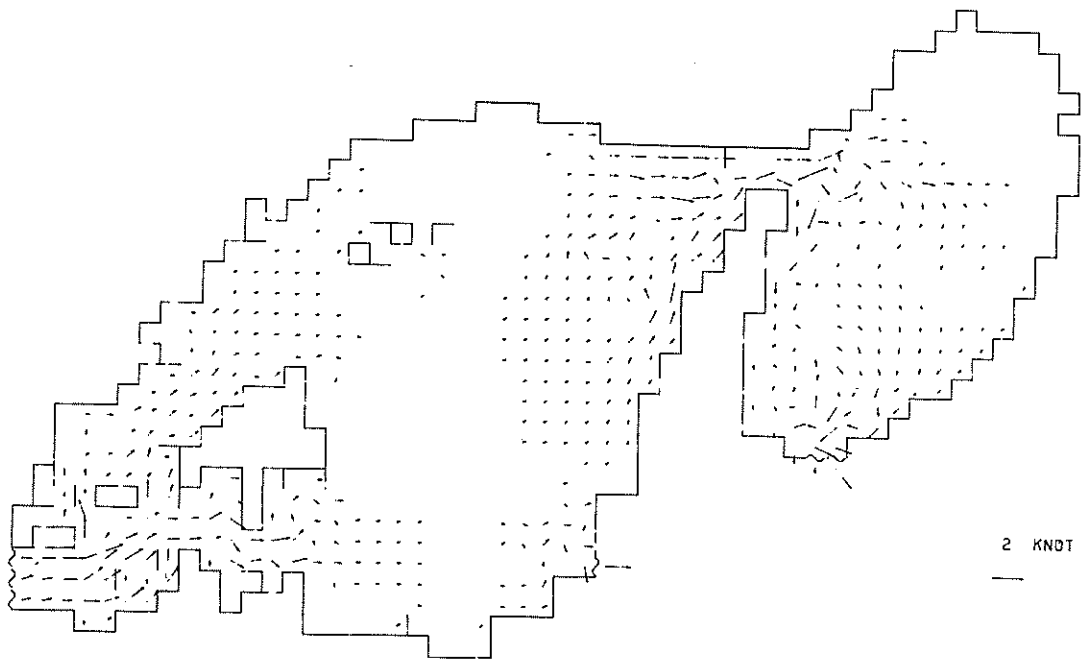
資 1-(6) 計算潮流図 (現況, 大潮, 53時)



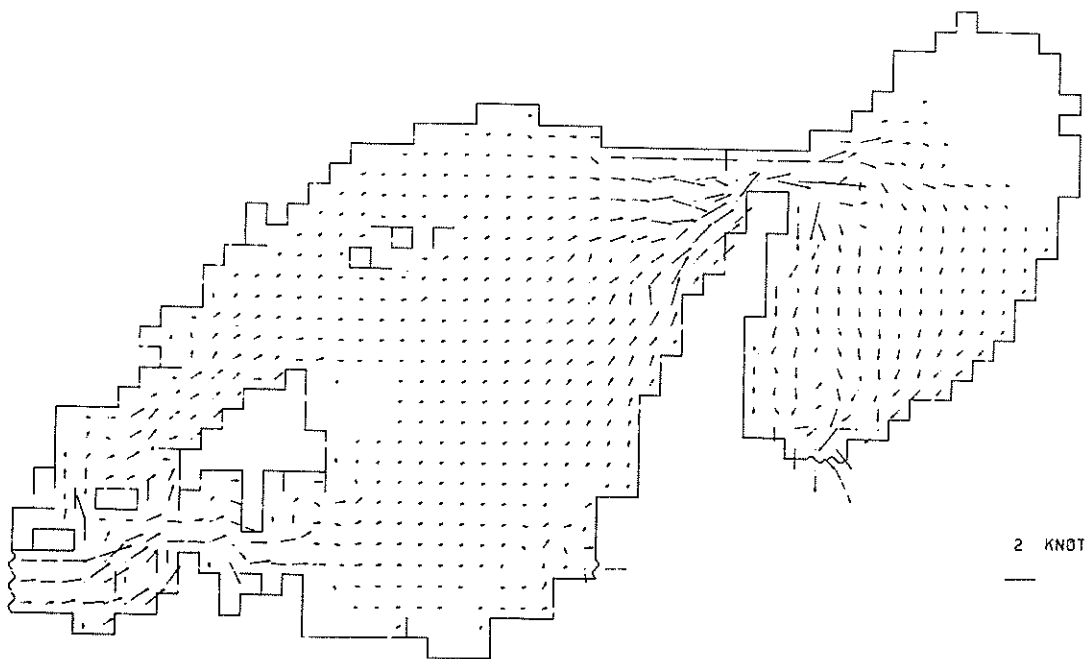
資 1-(7) 計算潮流図 (現況, 大潮, 54時)



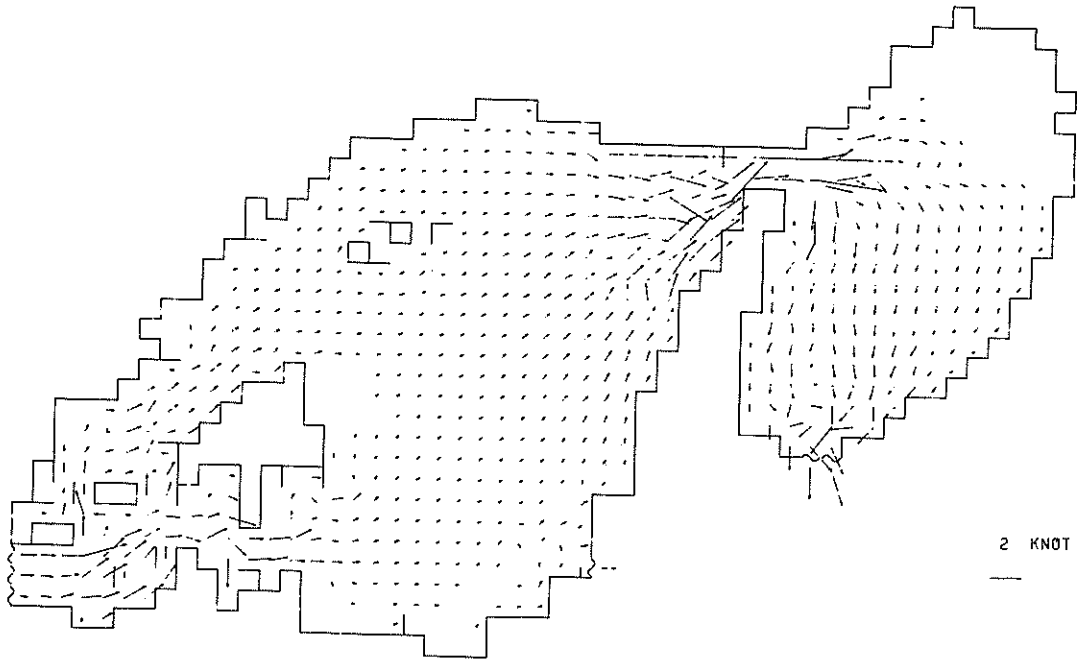
資 1-(8) 計算潮流図 (現況, 大潮, 55時)



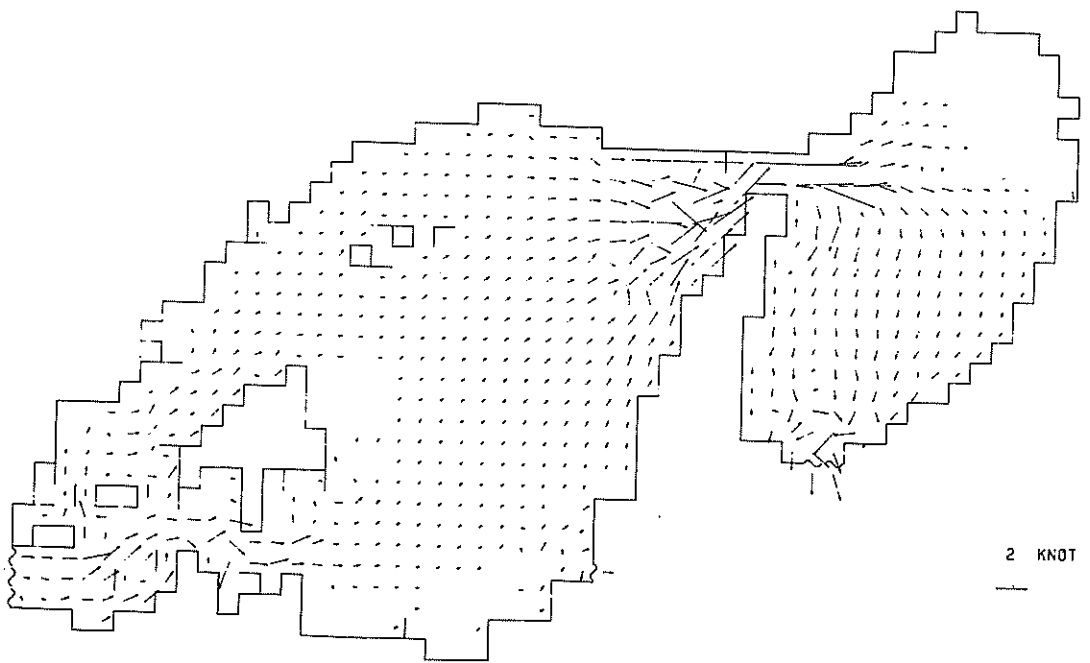
資 1-(9) 計算潮流圖(現況, 大潮, 56時)



資 1-(10) 計算潮流圖(現況, 大潮, 57時)

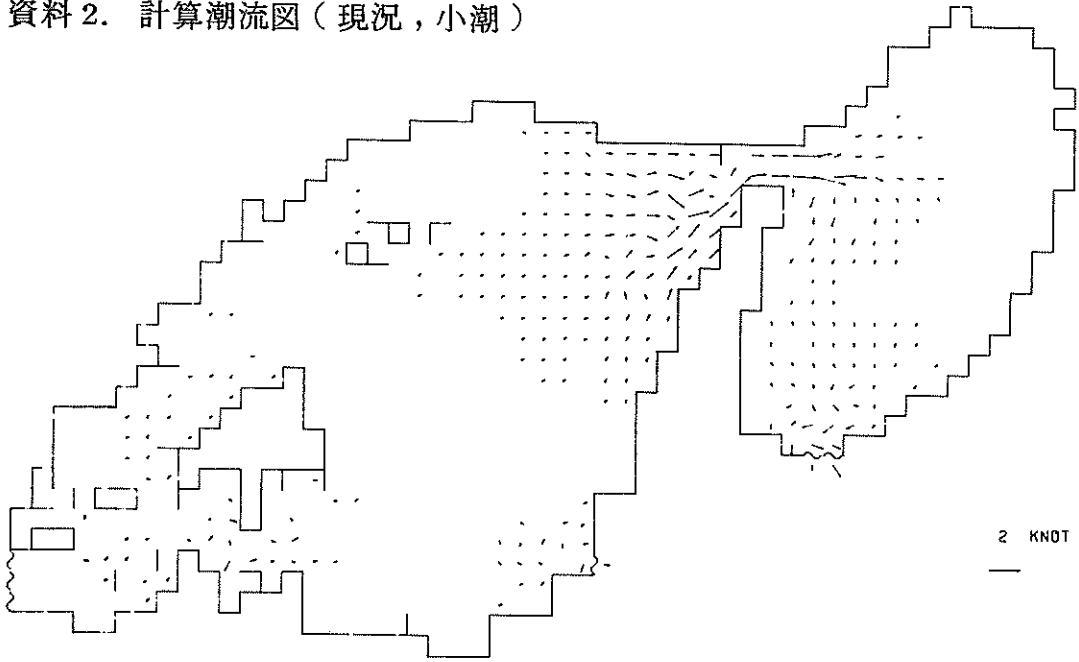


資 1 - (11) 計算潮流図 (現況, 大潮, 58 時)

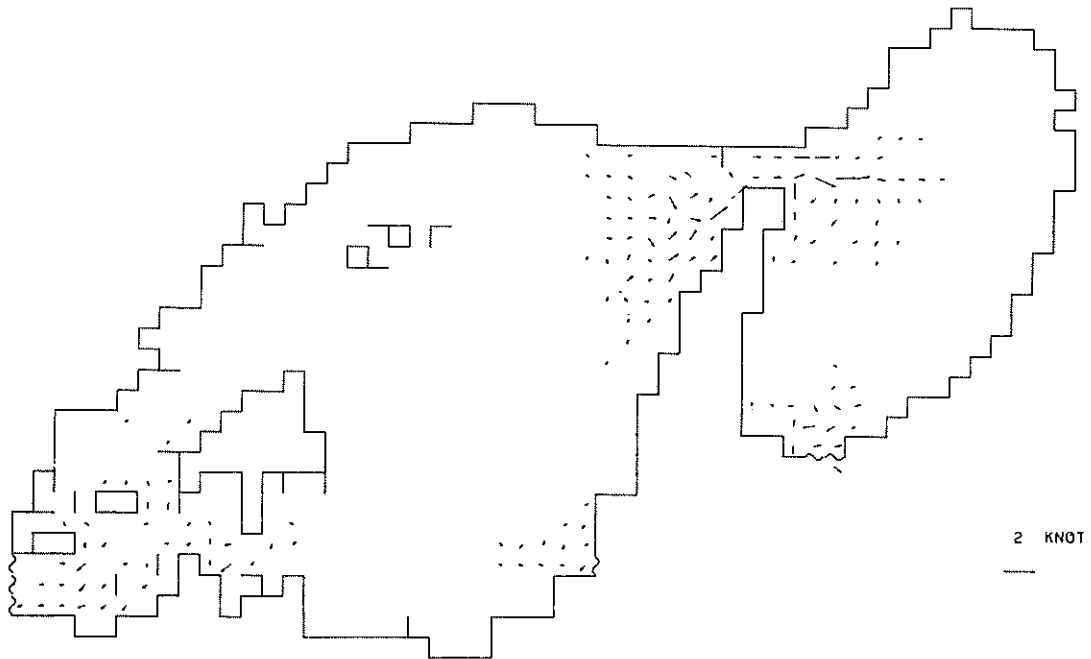


資 1 - (12) 計算潮流図 (現況, 大潮, 59 時)

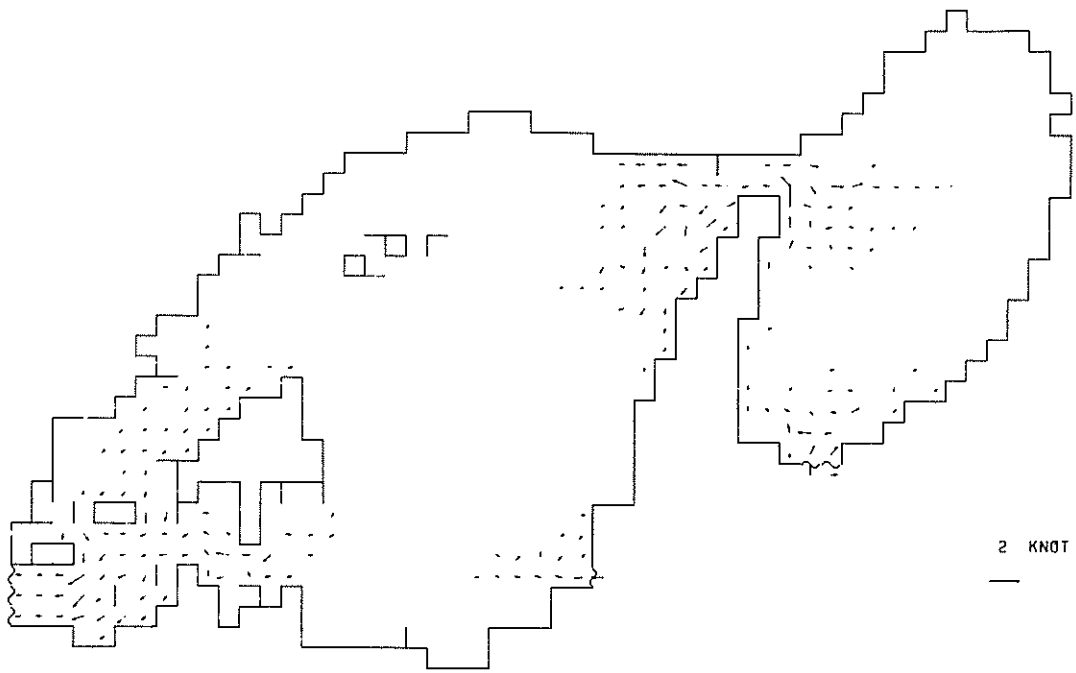
資料 2. 計算潮流図（現況，小潮）



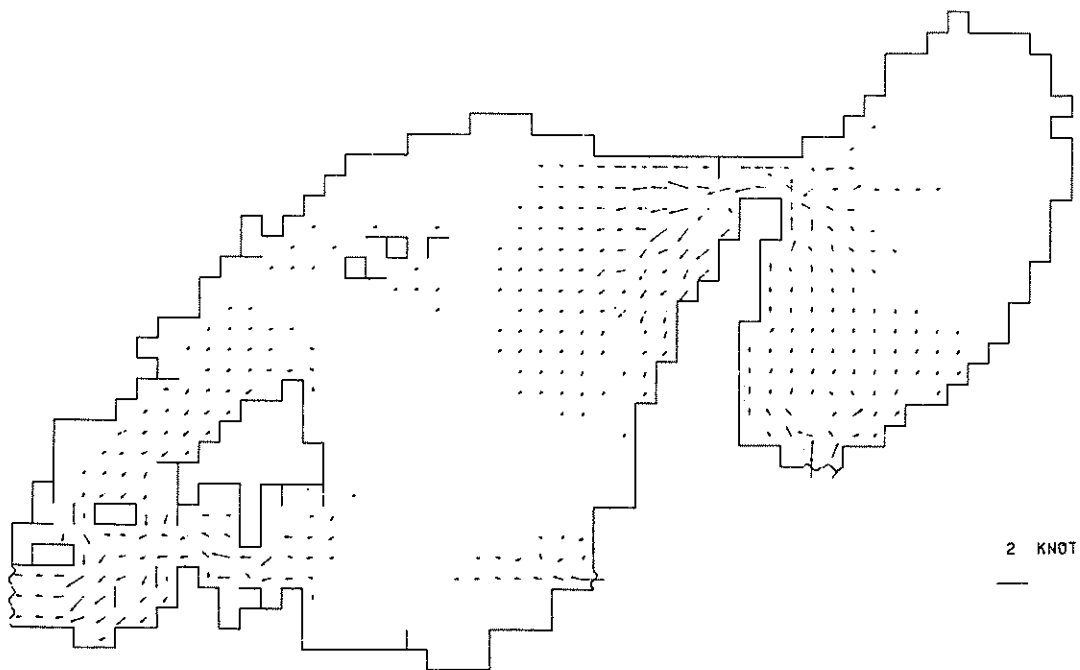
資 2 - (1) 計算潮流図（現況，小潮，72時）



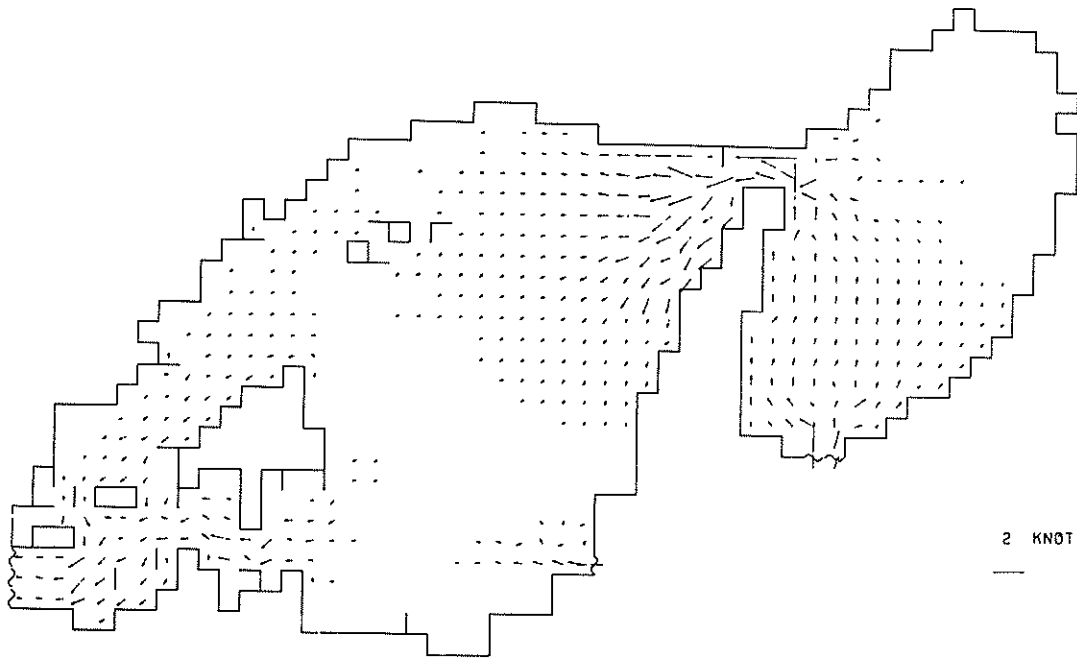
資 2 - (2) 計算潮流図（現況，小潮，73時）



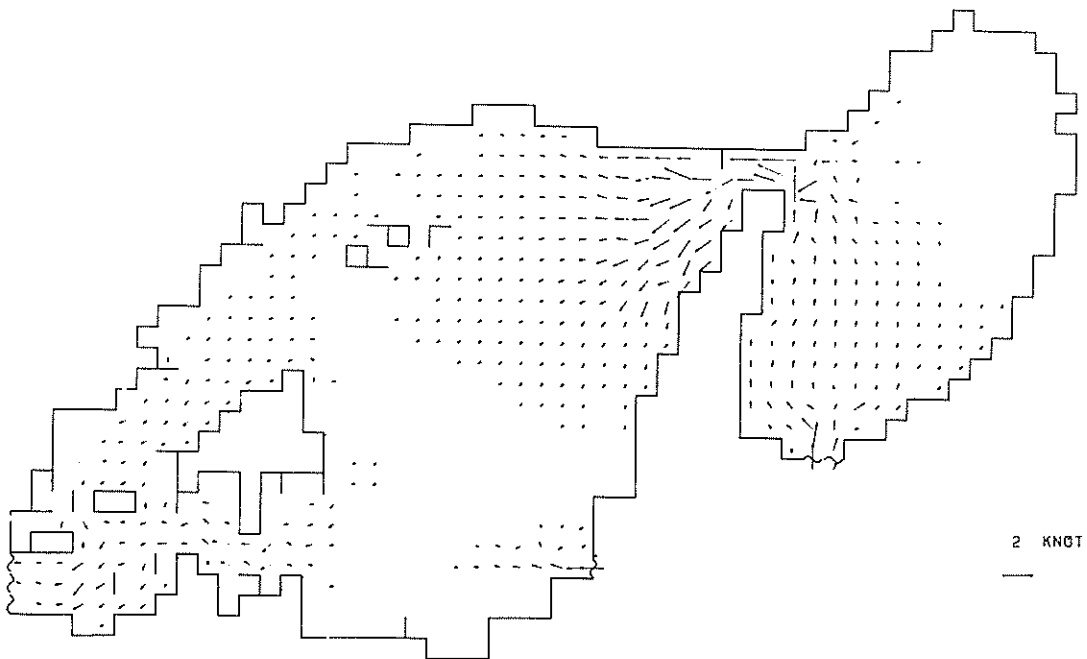
資 2 - (3) 計算潮流図 (現況, 小潮, 74 時)



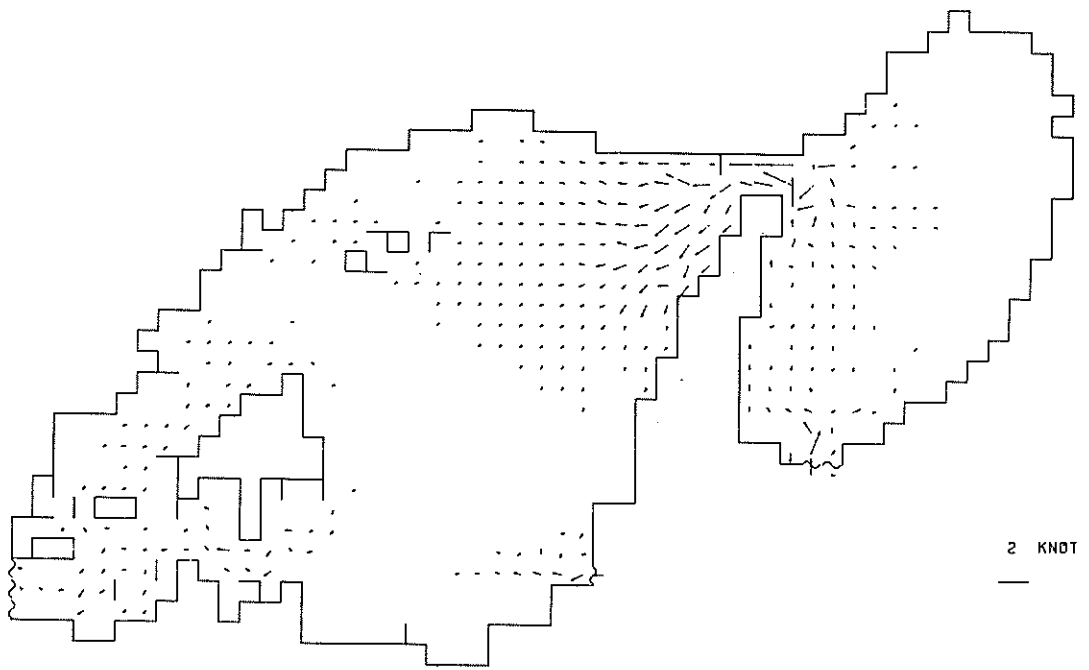
資 2 - (4) 計算潮流図 (現況, 小潮, 75 時)



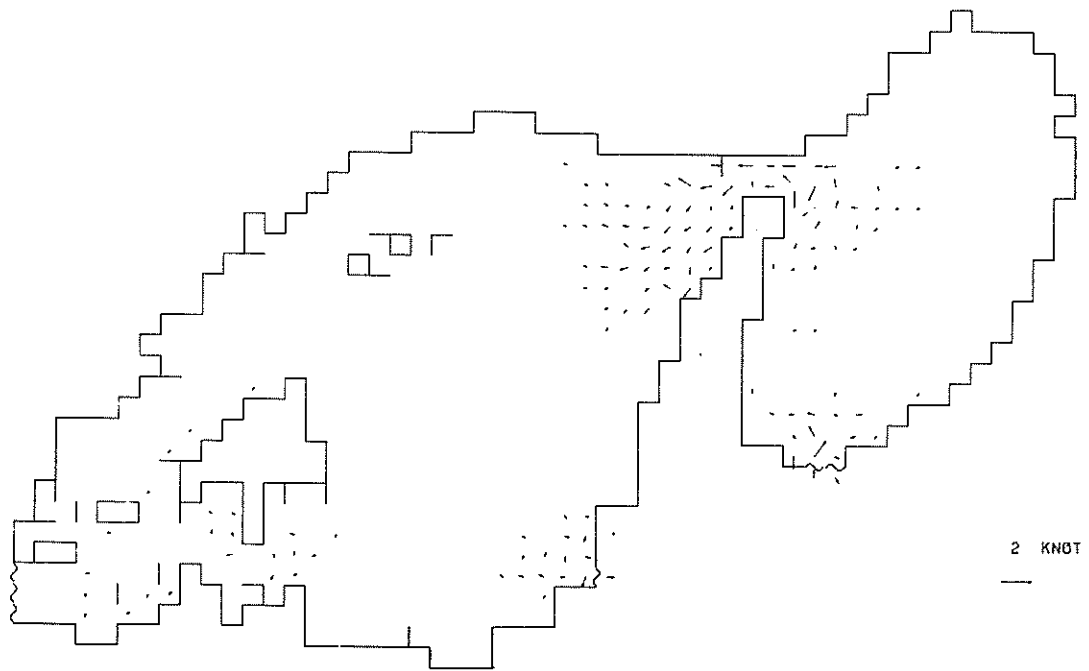
資 2-(5) 計算潮流図 (現況, 小潮, 76 時)



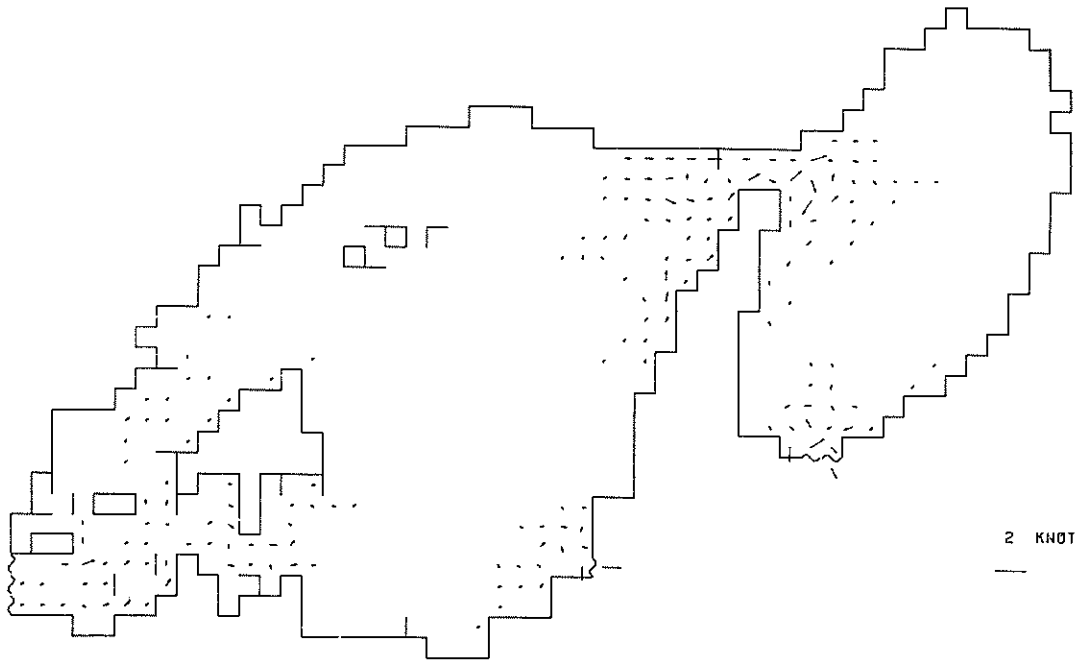
資 2-(6) 計算潮流図 (現況, 小潮, 77 時)



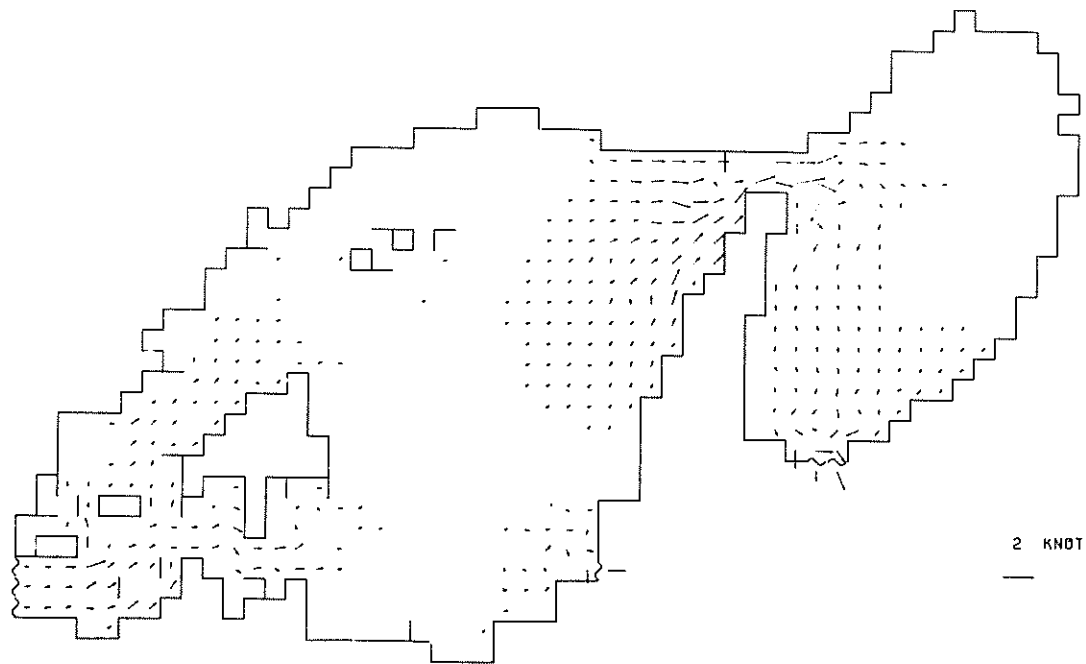
資 2-(7) 計算潮流図 (現況, 小潮, 78時)



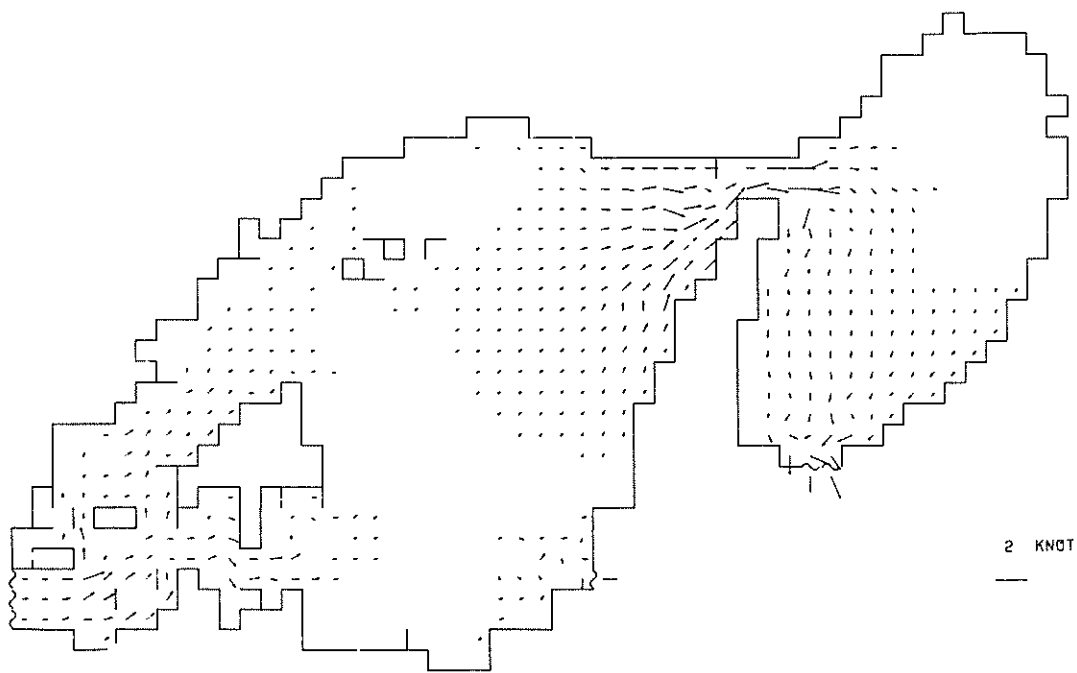
資 2-(8) 計算潮流図 (現況, 小潮, 79時)



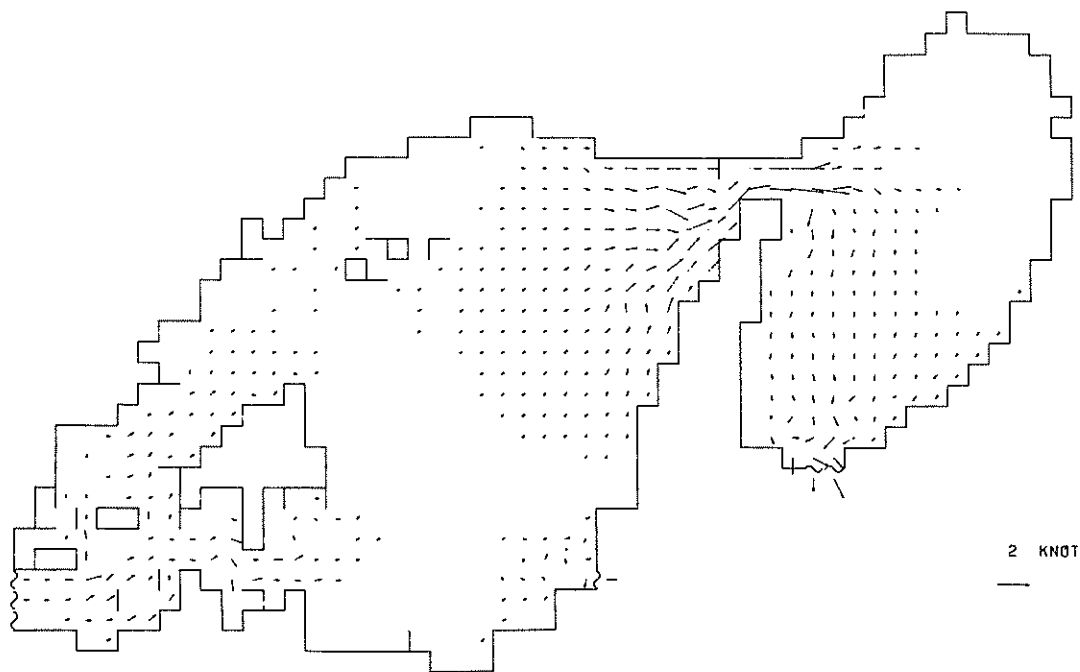
資 2 - (9) 計算潮流図 (現況, 小潮, 80 時)



資 2 - (10) 計算潮流図 (現況, 小潮, 81 時)

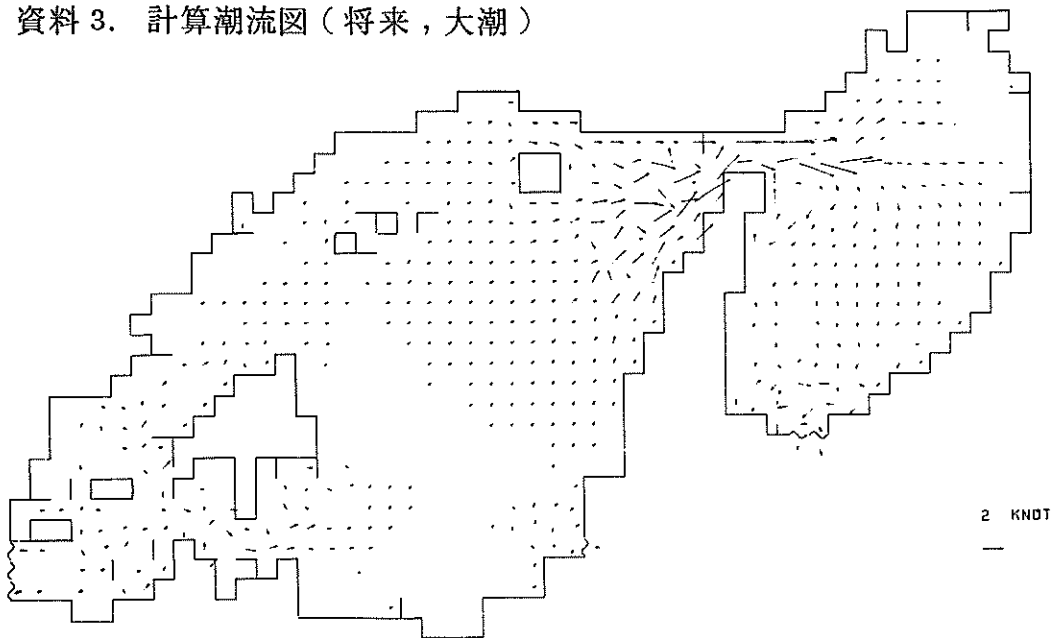


資 2 - (11) 計算潮流図 (現況, 小潮, 82 時)

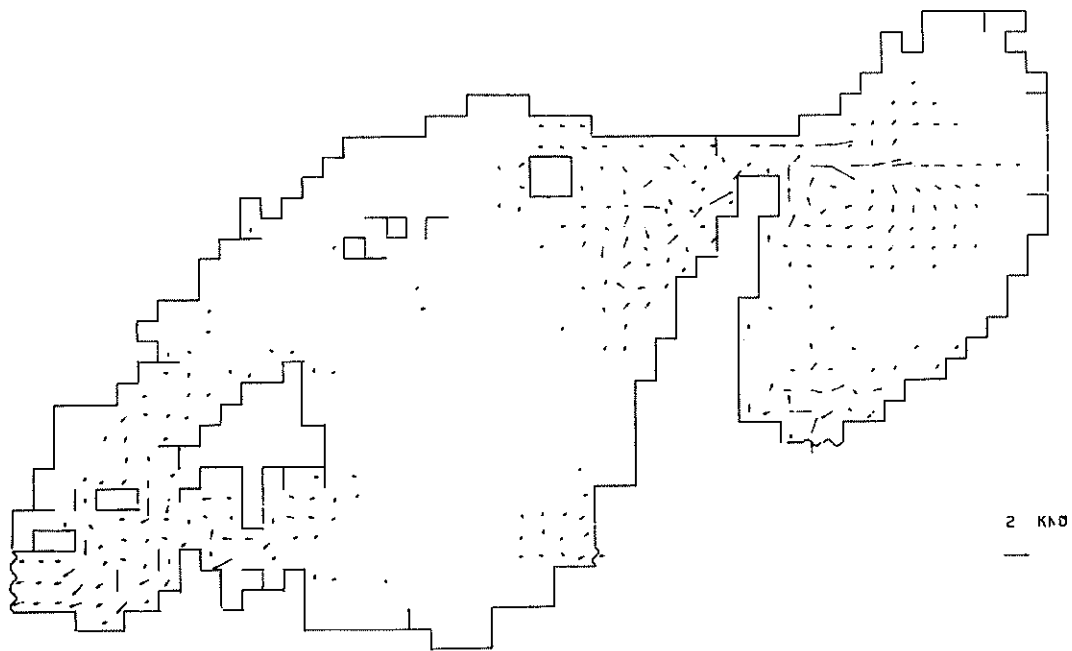


資 2 - (12) 計算潮流図 (現況, 小潮, 83 時)

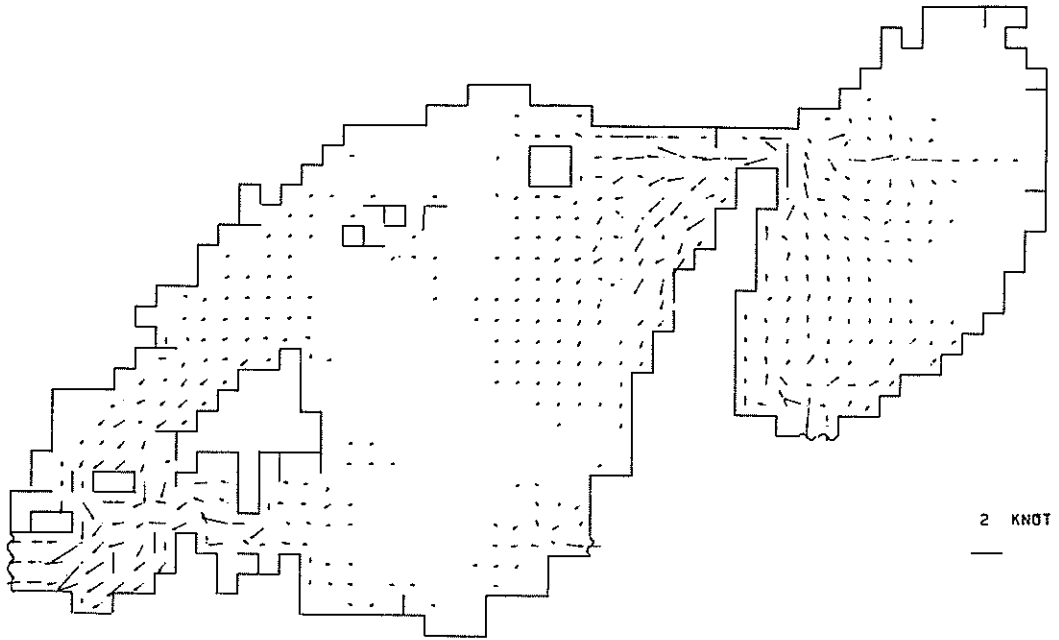
資料 3. 計算潮流図 (将来, 大潮)



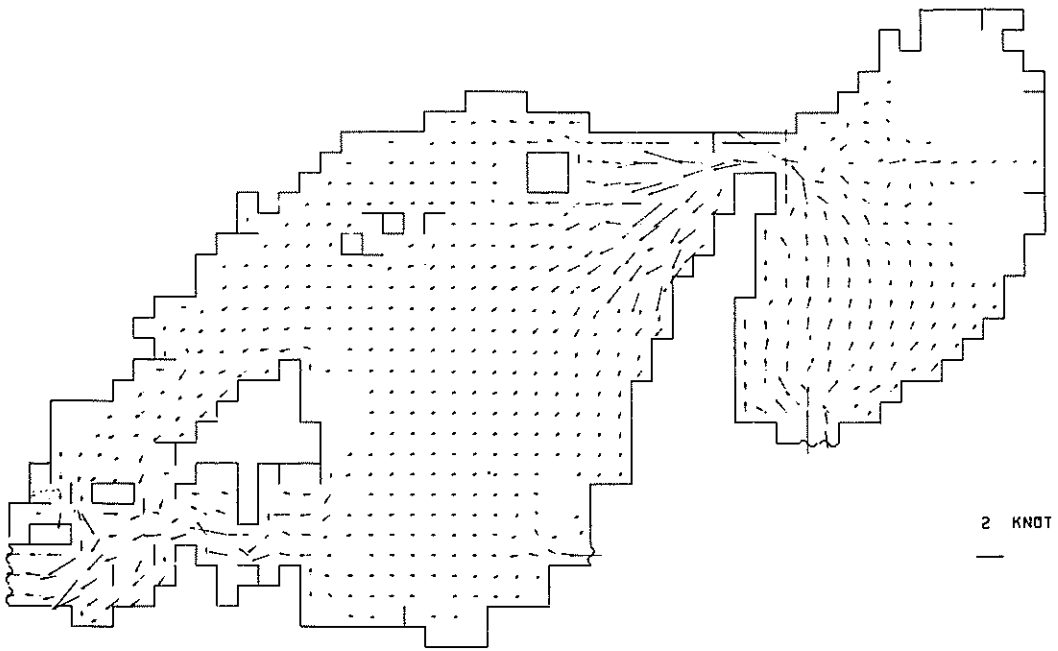
資 3 - (1) 計算潮流図 (将来, 大潮, 48 時)



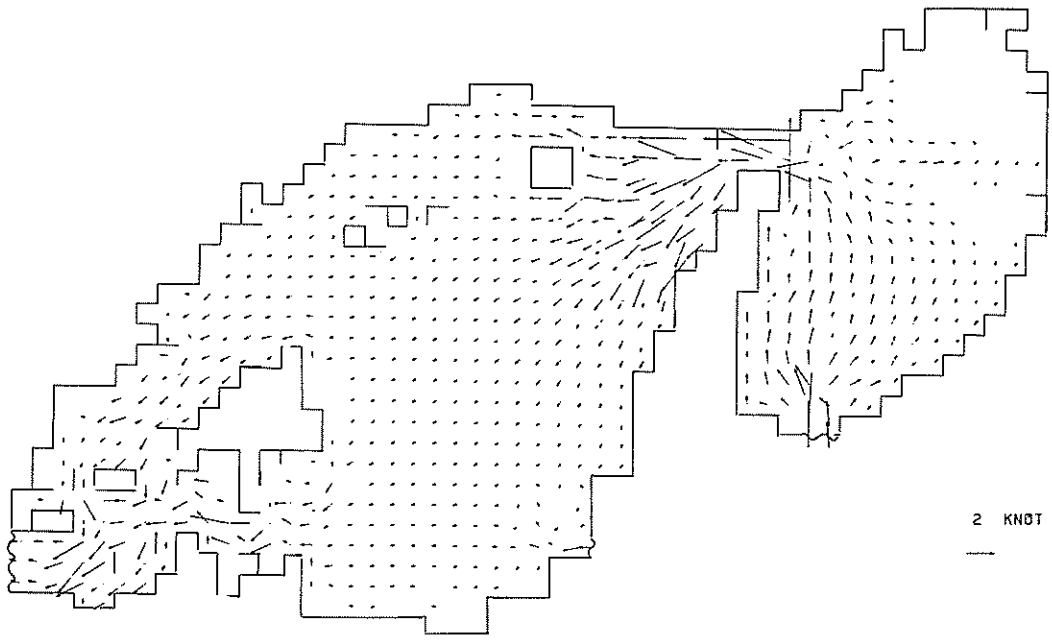
資 3 - (2) 計算潮流図 (将来, 大潮, 49 時)



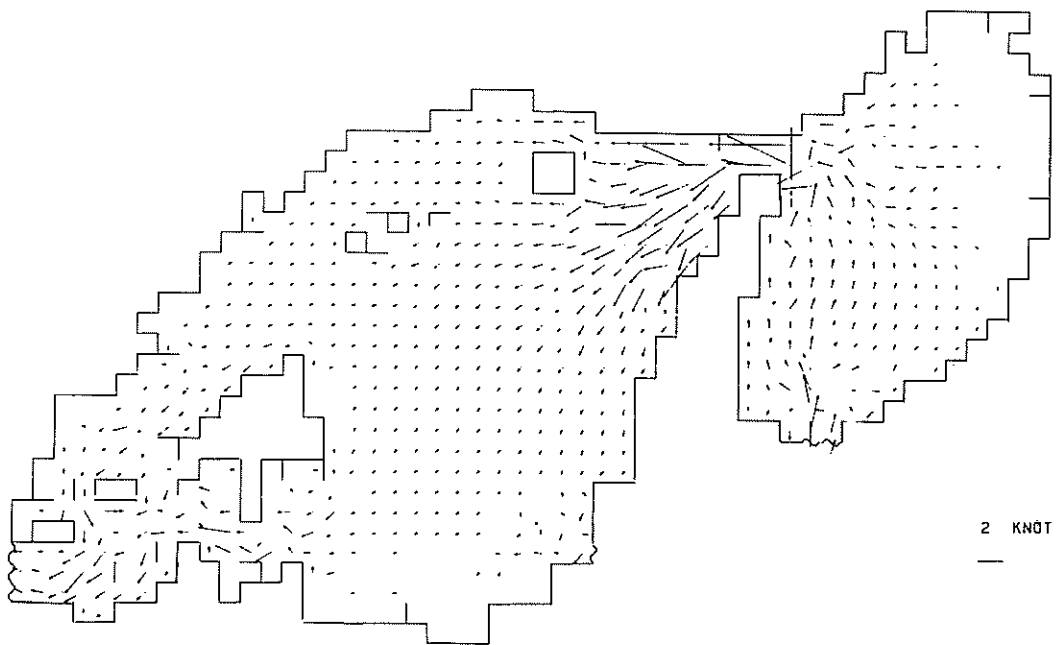
資 3 - (3) 計算潮流図 (将来, 大潮, 50 時)



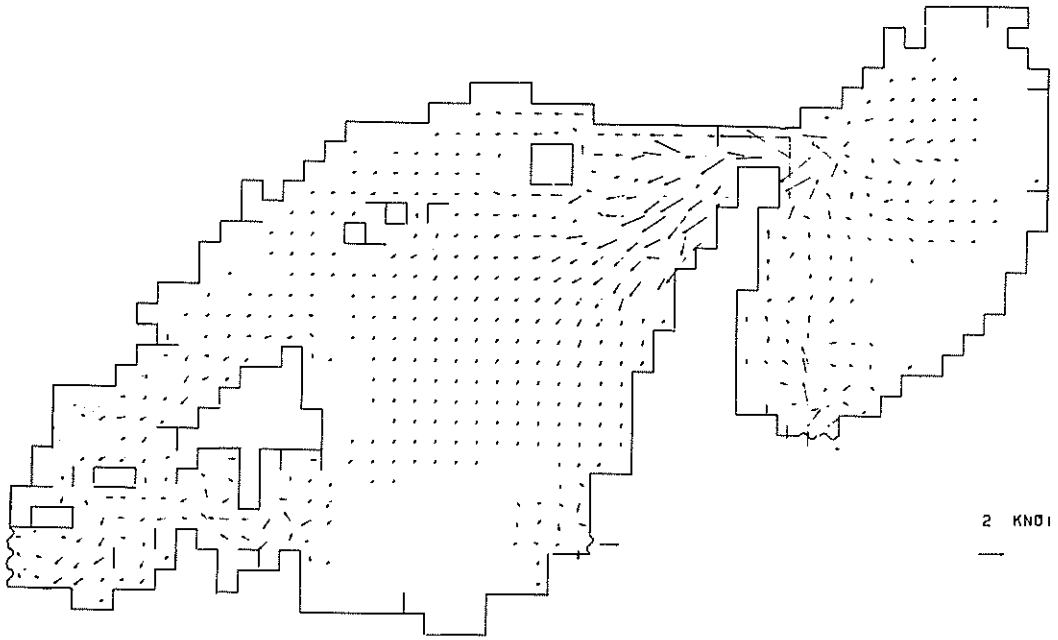
資 3 - (4) 計算潮流図 (将来, 大潮, 51 時)



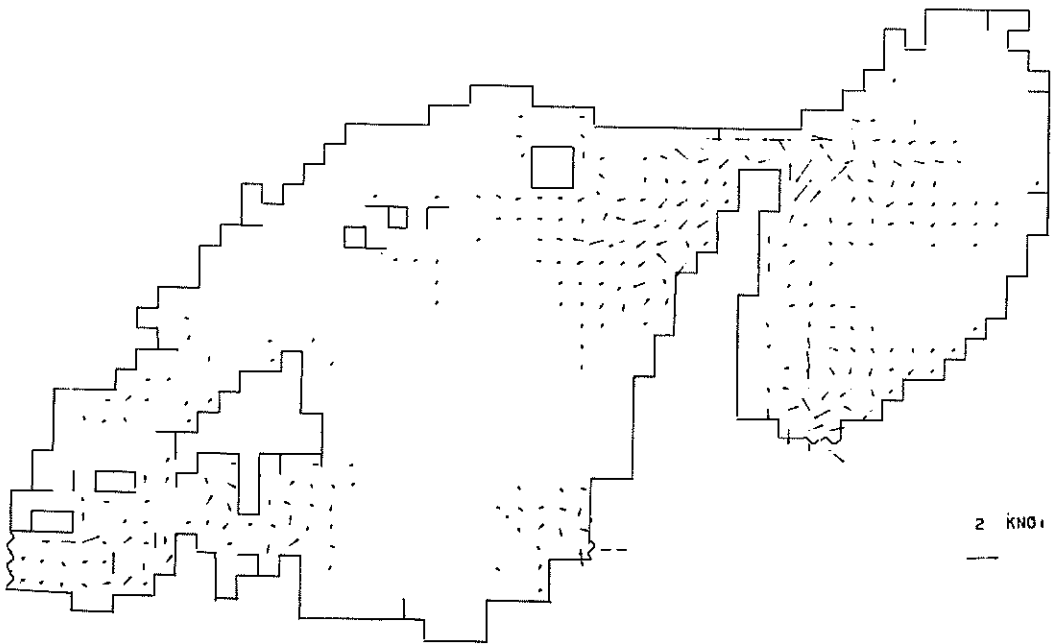
資 3 - (5) 計算潮流図 (将来, 大潮, 52時)



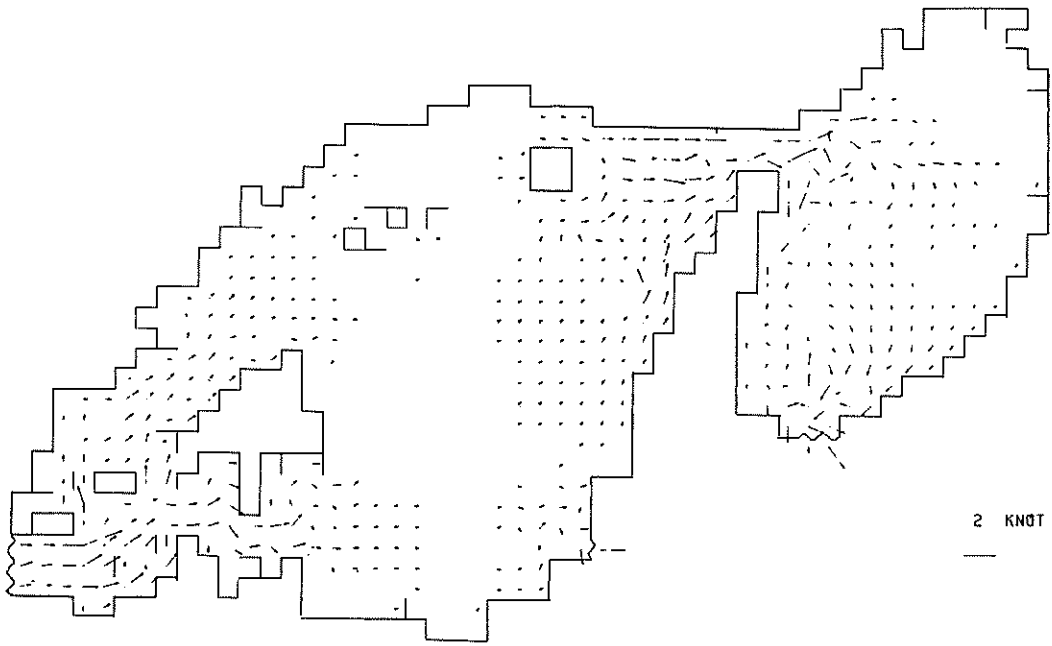
資 3 - (6) 計算潮流図 (将来, 大潮, 53時)



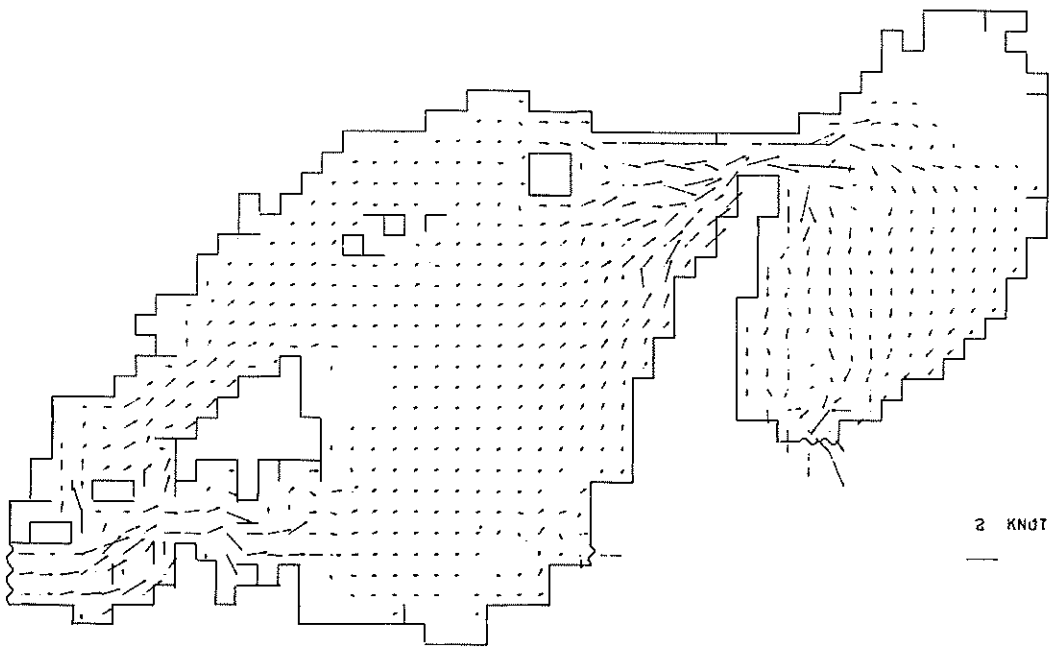
資 3-(7) 計算潮流図 (将来, 大潮, 54時)



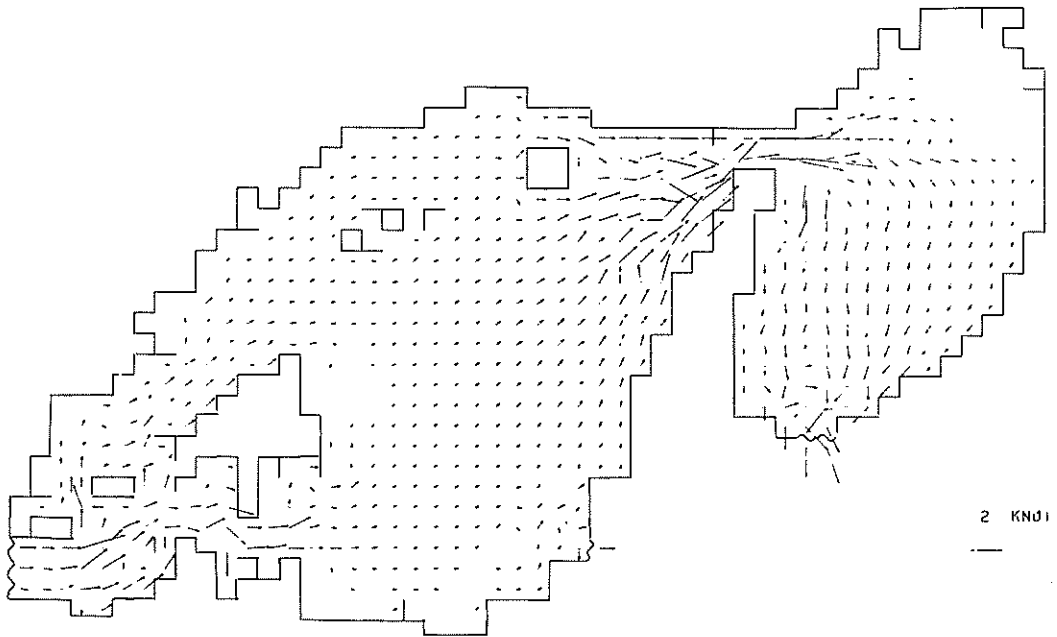
資 3-(8) 計算潮流図 (将来, 大潮, 55時)



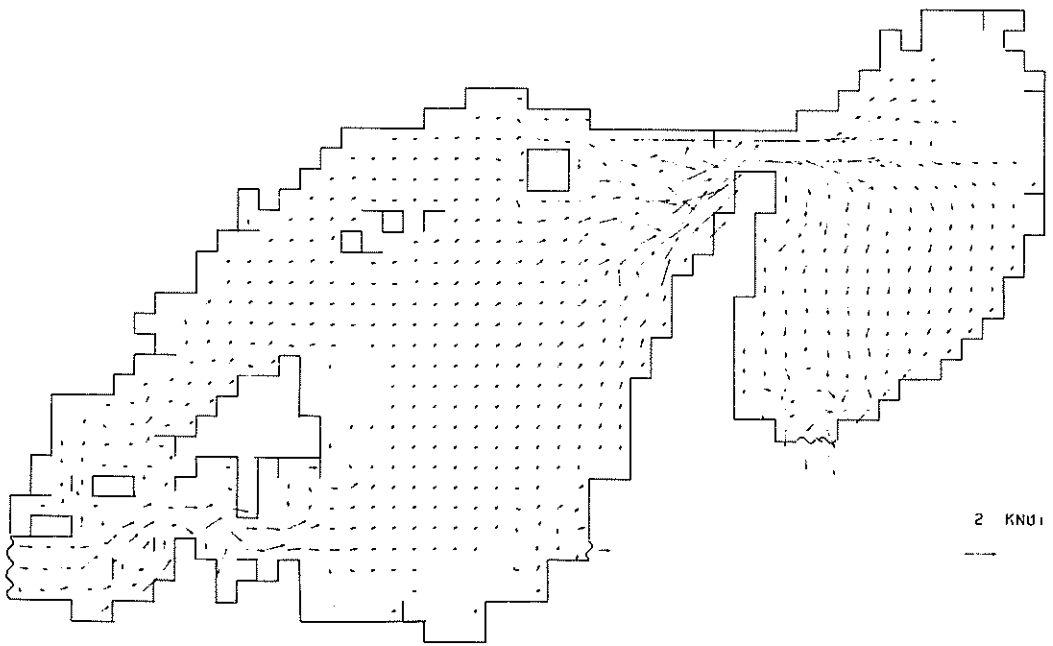
資 3 - (9) 計算潮流図 (将来, 大潮, 56 時)



資 3 - (10) 計算潮流図 (将来, 大潮, 57 時)

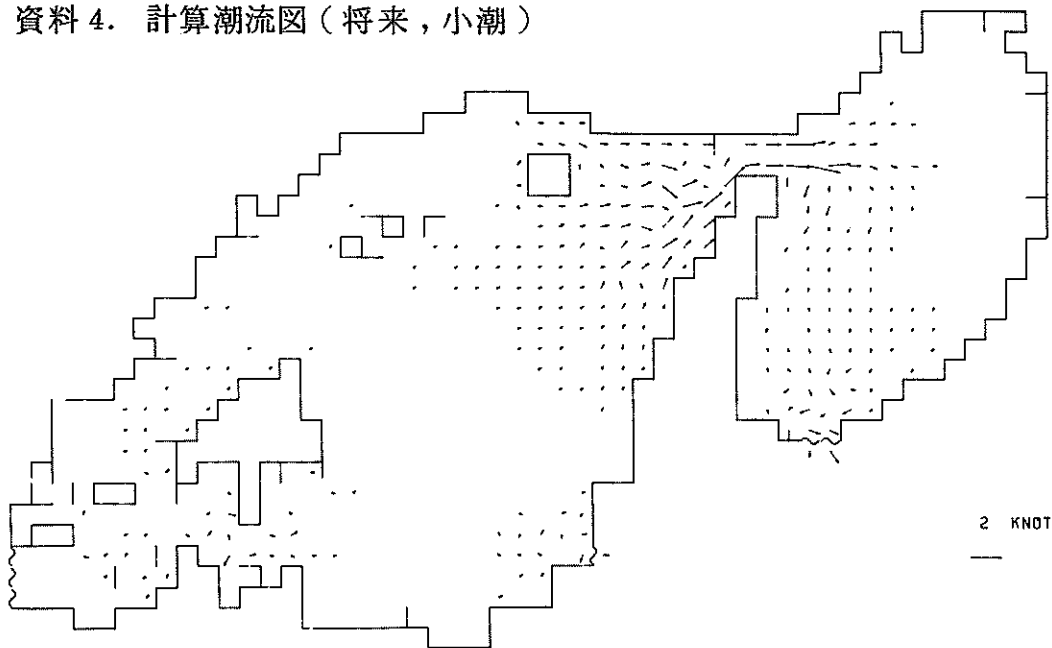


資 3 - (11) 計算潮流図 (将来, 大潮, 58 時)

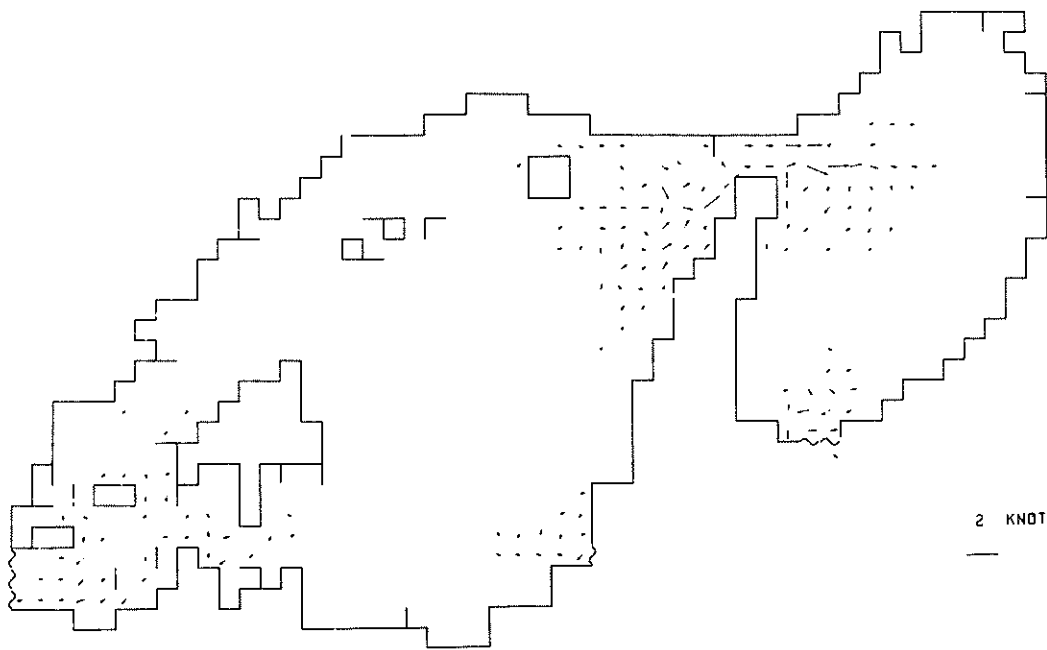


資 3 - (12) 計算潮流図 (将来, 大潮, 59 時)

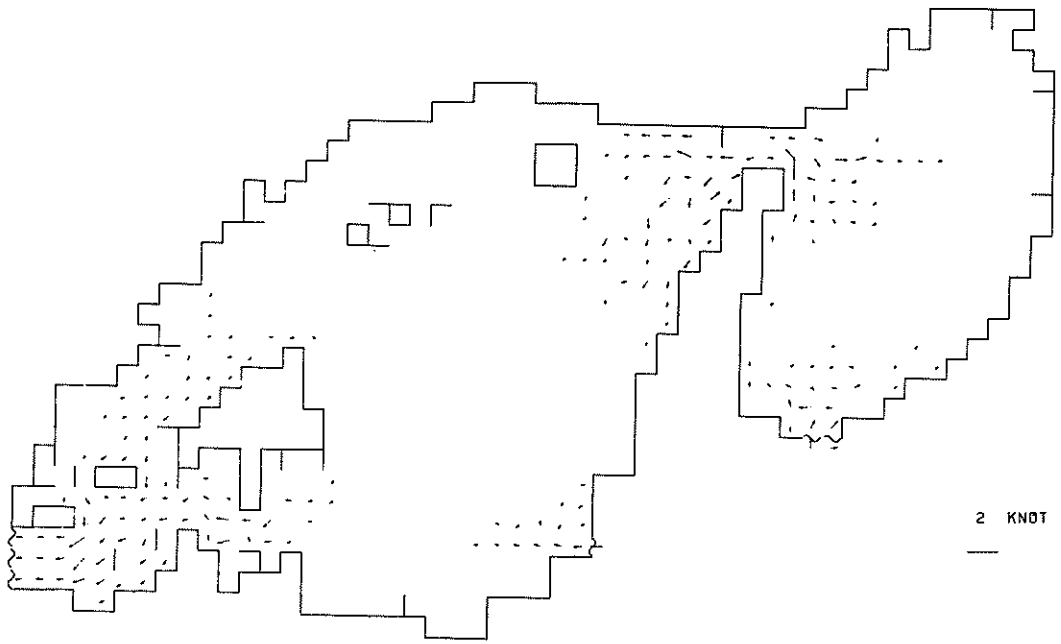
資料 4. 計算潮流図 (将来, 小潮)



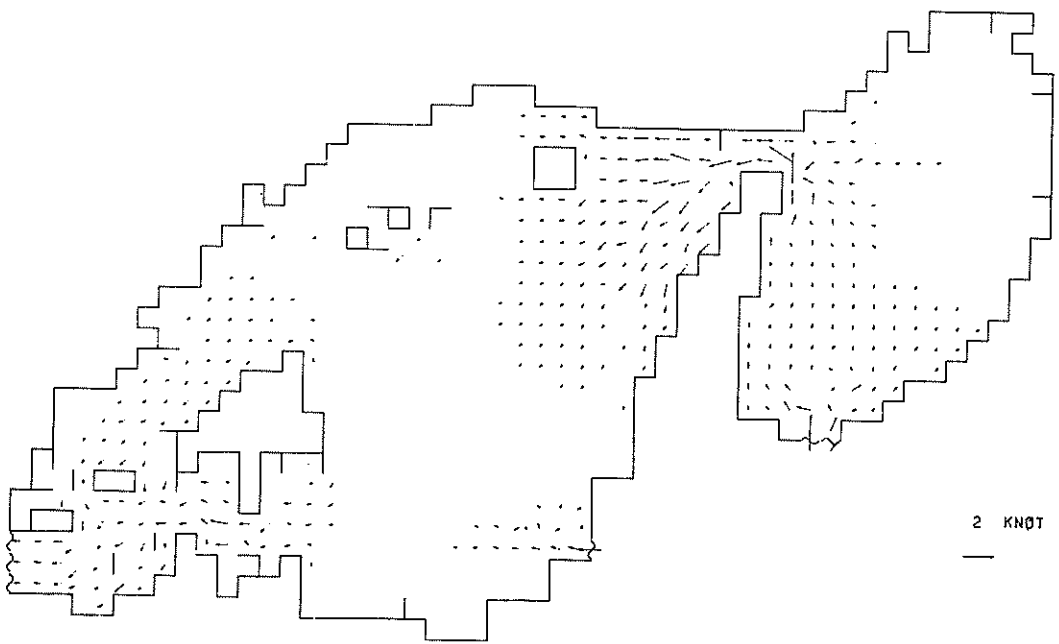
資 4-1(1) 計算潮流図 (将来, 小潮, 72 時)



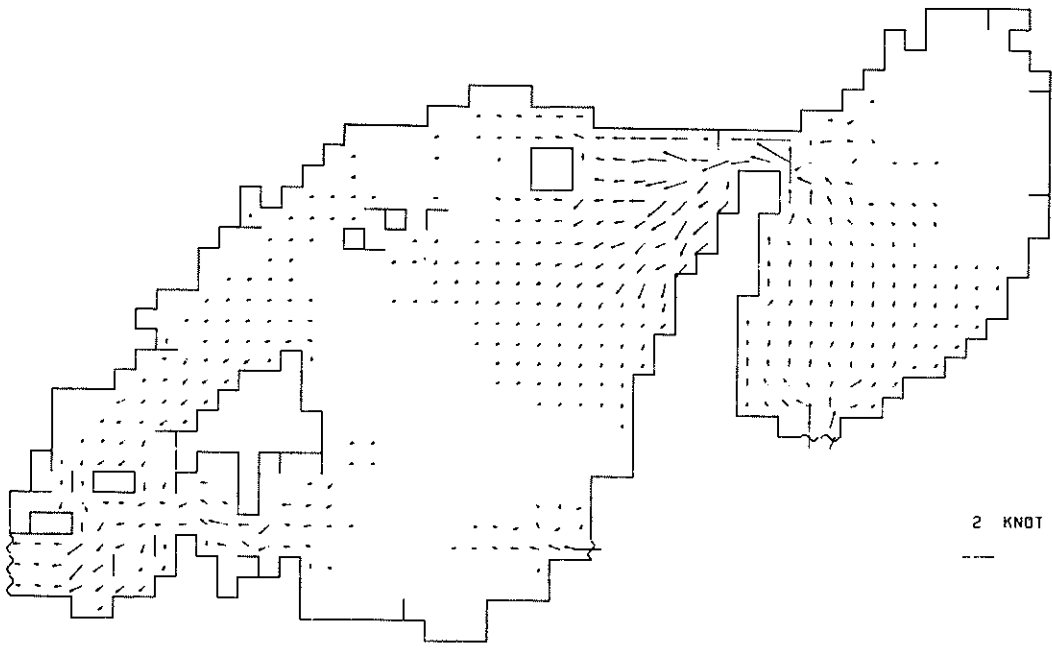
資 4-1(2) 計算潮流図 (将来, 小潮, 73 時)



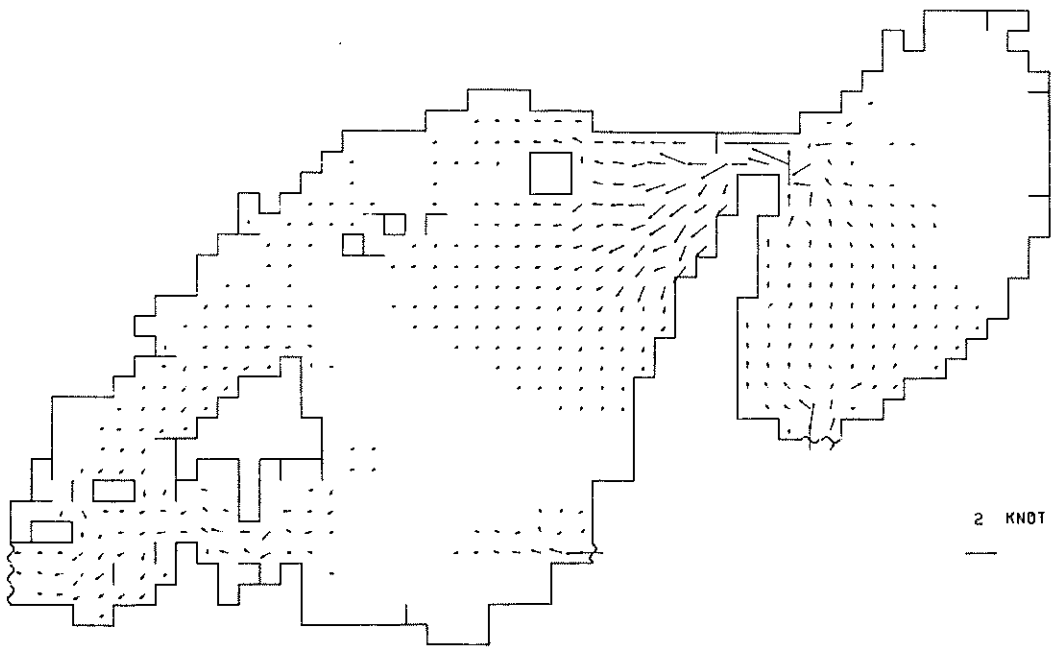
資 4 - (3) 計算潮流図 (将来, 小潮, 74 時)



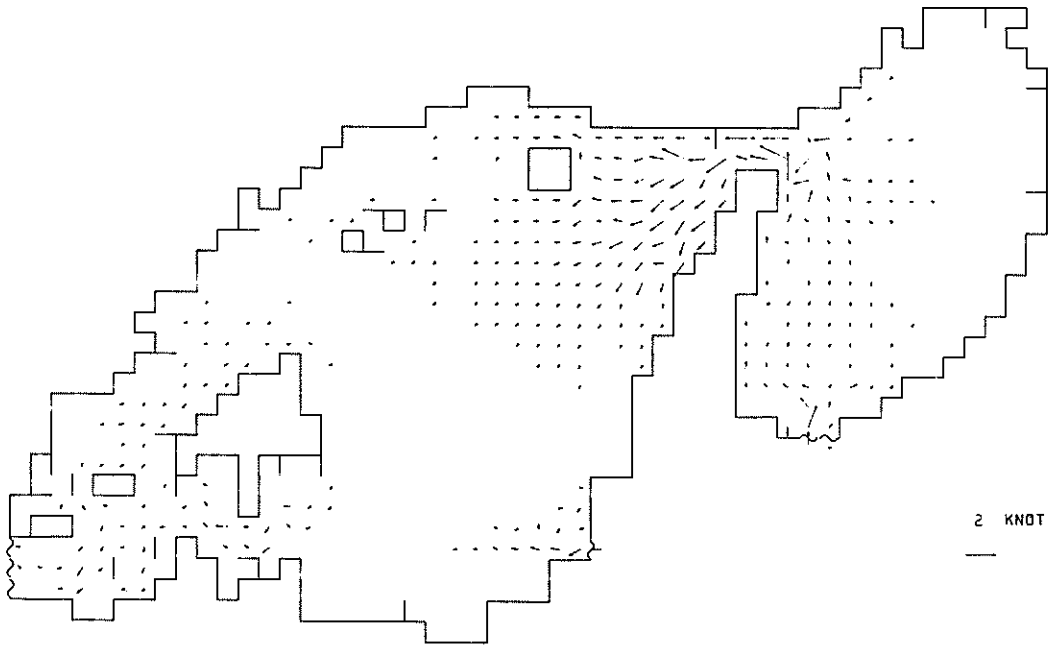
資 4 - (4) 計算潮流図 (将来, 小潮, 75 時)



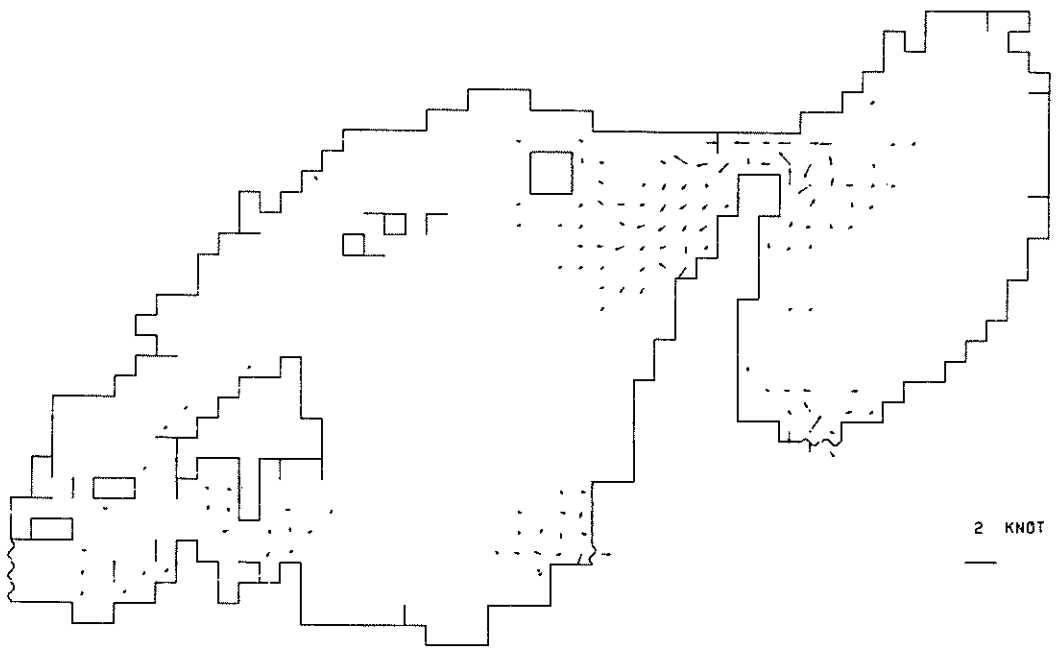
資 4 - (5) 計算潮流図 (将来, 小潮, 76時)



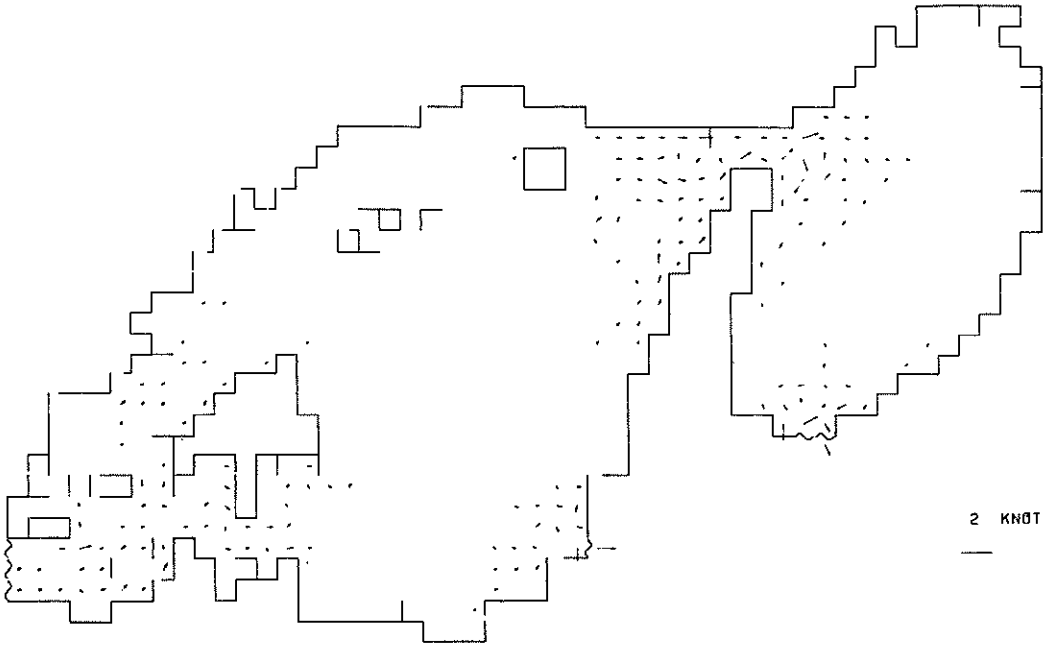
資 4 - (6) 計算潮流図 (将来, 小潮, 77時)



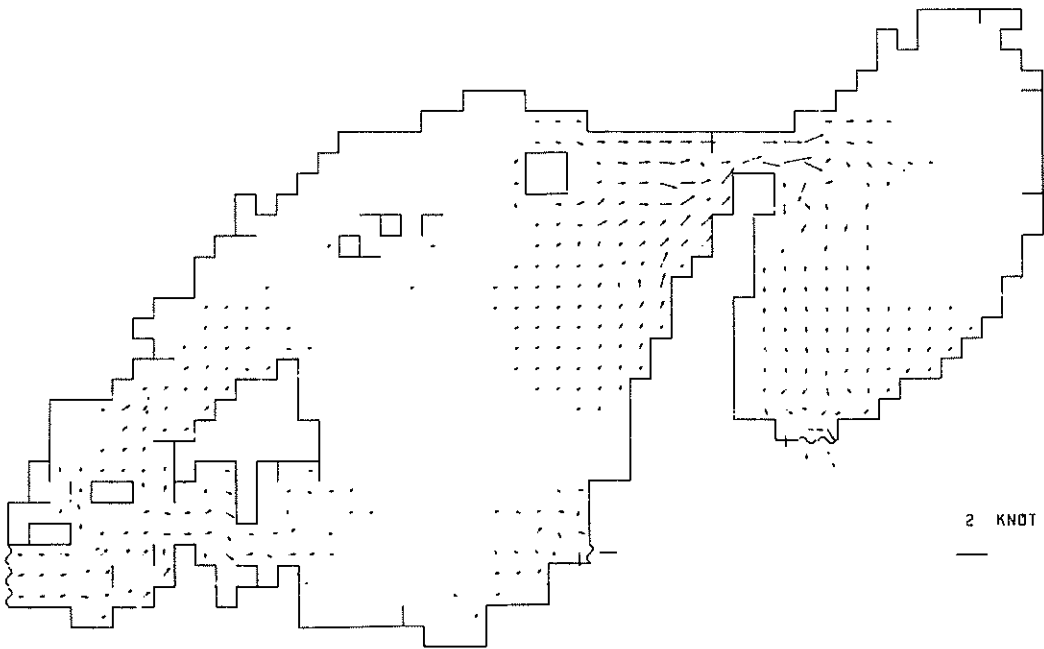
資 4 - (7) 計算潮流図 (将来, 小潮, 78 時)



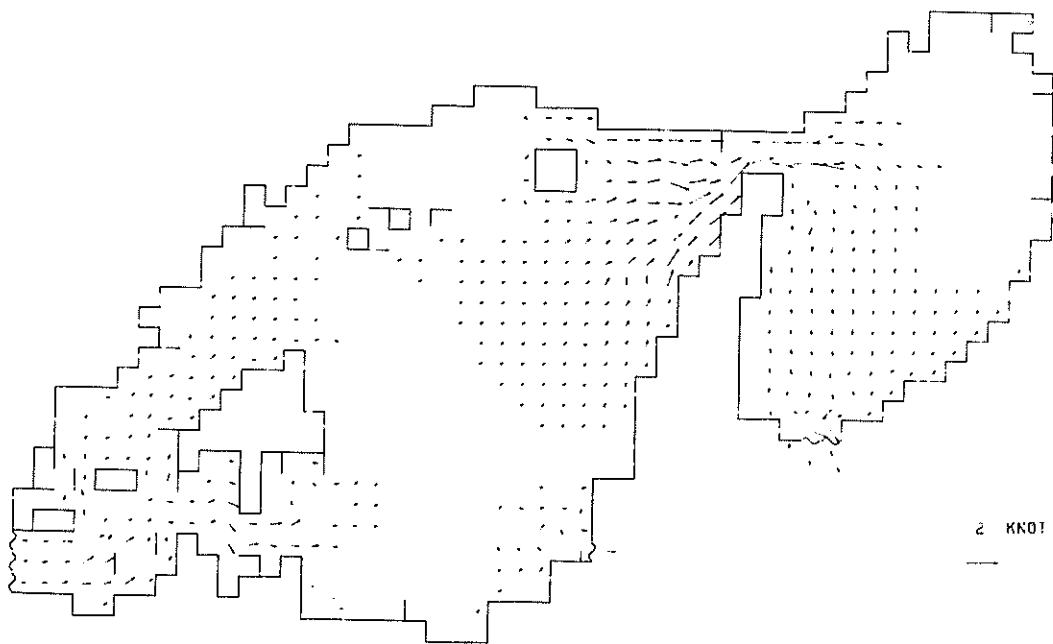
資 4 - (8) 計算潮流図 (将来, 小潮, 79 時)



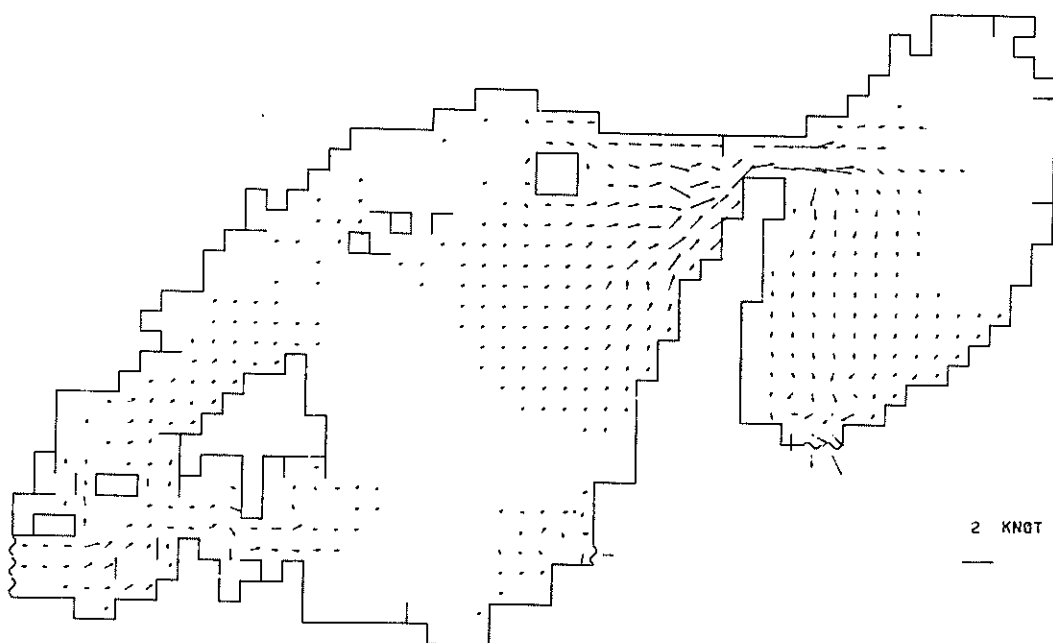
資 4 - (9) 計算潮流図 (将来, 小潮, 80 時)



資 4 - (10) 計算潮流図 (将来, 小潮, 81 時)



資 4 - (11) 計算潮流図 (将来, 小潮, 82 時)



資 4 - (12) 計算潮流図 (将来, 小潮, 83 時)

港湾技研資料 No. 231

1976・3

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 (有) 葵印刷工業

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