

運輸省 気象庁

宮崎正衛

運輸省 第四港湾建設局

正会員 川上善久

I. 計算の趣旨

関門海峡周辺の潮流については、昭和39年度に、気象庁、第四港湾建設局が、数値計算を行なっている。しかし、これは、海峡の内部については、一次元の計算を行っただけであつた。今回の計算は、海峡内の埋立および航路浚せつなどの計画に合わせて、平面的な潮流の分布を求めるために、43年度において実施したものである。計算に当っては、非線形項を考慮した。

II. 計算の要目

1. 計算海域

東は長府―青浜 西は南風泊―洞海湾口（南）の線で区切られた海域である。

2. 格子および時間間隔

200 m, 625 secとし、交互の格子で交互の時間に流速成分および潮位を計算する。全体の格子点数は4,400である。

3. モデル

i) 現況、（モデル 1）

ii) 製鉄戸畑泊地の外側に約300 mの防潮堤を設置した場合（モデル 2）

iii) 計画中の埋立および-1.3 m航路浚せつ計画が終了した場合（モデル 3）

4. 計算方法

大潮時における東西両端の潮位変化を半日周期（正確には12時間25分）の正弦曲線のかたちであたえ、流速分布、潮位分布を差分法によつて計算する。なお、計算はPrimitive methodによつて行い、地球自転の偏向力、海底摩擦および慣性項を考慮に入れる。

III. 基礎方程式と条件

X軸を南方、Y軸を西方に選び、X、Y方向の線流量をU、V、海面の上昇量をhとすれば、基礎方程式は

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -fV - \left(U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} \right) / D - \rho \gamma^2 \sqrt{U^2 + V^2} \cdot U / D^2 - g(D+h) \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = fU - \left(U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} \right) / D - \rho \gamma^2 \sqrt{U^2 + V^2} \cdot V / D^2 - g(D+h) \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = - \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial V}{\partial y}$$

となる。ただし

f : 地球自転の偏向力 ($= 2w \sin \varphi$)

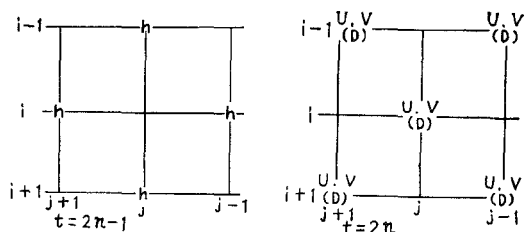
D : 水深 (平均海面から測った値)

ρ : 海水密度

γ^2 : 海底における抵抗係数

g : 重力の加速度

t : 時間



第1図 格子の配置図

である

初期条件は $t=0$ においていたところ $U=V=h=0$ とする。

境界条件は海岸において水深がなく、流速成分が有限であること。つまり、 $U=V=0$ とする。

IV. 差分計算の方法

前出の基礎方程式を差分式に直して数値計算を行うわけであるが、その方式は次のようにした。

1. 格子の配置

第1図のとおり、 U 、 V と h とを交互の格子点で交互の時間ステップについて計算する。

2. 計算のscheme

i) U 、 V を含むコリオリ項、摩擦項、慣性項については、Adams-Bushforth法による。

ii) h を含む項と連続の式については通常の、leapfrog法による。

ここで、Adams-Bushforth法は

$$\frac{\partial f}{\partial t} = F(x, y)$$

のかたちの式を

$$f_n = f_{n-2} + (3F_{n-2} - F_{n-4}) \Delta t$$

とおきかえるもので、サフィックスは時間ステップの番号をあらわす。 U 、 V については時間ステップ $n-4$ 、 $n-2$ 、 n 、……の値が求められるのでステップ n の値をこの方式によりステップ $n-2$ 、および $n-4$ の値から計算することができる。leapfrog法では同じ形の微分方程式を、

$$f_n = f_{n-2} + 2F_{n-1} \Delta t$$

とおきかえて計算する。 f を U 、または V とすれば F は h を含む式、 f が h ならば F は U 、 V を含む式となるので、 U 、 V と h とが交互の時間ステップで計算されることを利用して次々と計算してゆくことができる。

3. 慣性項における空間差分のとり方

もし、たとえば U が各格子点で求められているとすれば

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -aU \frac{\partial U}{\partial x} \quad (a > 0)$$

のかたちの式で右辺の項の差分は

$$U < 0 \text{ のとき} \quad -aU_{i,j}(U_{i+1,j} - U_{i,j})/\Delta x$$

$$U > 0 \text{ のとき} \quad -aU_{i,j}(U_{i,j} - U_{i-1,j})/\Delta x$$

とすれば計算は安定に行なわれる。しかし、われわれの Scheme では一つおきの桌で U, V が求められるので (i, j) に対する値はこの桌の値 およびこれともっとも近い $(45/\sqrt{2})$ だけ離れている。4 桌の値を用いてあらわした方がよい。このため、座標軸を 45° 回転して慣性項成分の差分式を上述の原理によって求めた上、再び座標をもとに戻して U, V を含む式としてあらわすこととした。

第1表 現況に対する潮汐計算値の実測値との比較

地 点	計 算		実 測	
	潮時差*	潮 差	潮時差*	潮 差
青 浜	0	3.2 ^m	0	3.2 ^m
壇 の 浦	6	2.6	6	2.3
弟 子 待	21	2.0	22	1.8
南 風 泊	51	1.1	51	1.1

*青浜よりの遅れ(分)で示す。

V. 諸定数

1. 両端における潮位差 (大潮差)

東端 (長府ー青浜) 316 cm

西端 南風泊ー洞海湾口 (南) 110 cm

2. 両端における初期の位相

東端: 潮位零で、次第に上昇する。

西端: 東端より51分(0.43ラジアン)おくれる。第2表 現況に対する潮汐計算値の実測値との比較

ただし、初めて正弦曲線が正に転ずるまでは零。

3. 偏向力

緯度 $33^\circ 57' N$ として

$$2W \sin \phi = 8.12 \times 10^{-5}$$

4. 海底の抵抗係数

$$\gamma^2 = 2.6 \times 10^3$$

地 点	計 算 値		実 測 値	
	平均潮時差*	最強流速	平均潮時差*	最強流速
早瀬瀬戸	11 ^分	東流 207 西流 225	13 ^分	東流 216 西流 243
大里沖	25	東流 106 西流 133	35	東流 124 西流 144
新町沖	30	東流 91 西流 122	35	東流 174 西流 161
六連出	35	東流 71 西流 91	50 6	東流 103 西流 117

* 青浜の平潮時(上昇)、平潮時(下降)と乾流時(東→西)
乾流時(西→東)と各地点のそれらとの時間差の平均値

VI. 現況に対する計算と実測との比較

今回の数値計算では東西両端の潮汐と M_2 分潮の周期をもつ振巾 ($M_2 + S_2$) の正弦振動としてあたえた。したがって、その結果はほぼ大潮時の平均状態をあらわすものと考えられる。

1. 潮 汐

計算の結果は潮時についてはほとんど実測の結果と一致し、また潮差についてもほぼ一致をみた。2, 3の代表表における比較を第1表に示す。

2. 潮 流

計算値と実測値との比較を第2表に示す。これによると最強流速、潮時ともほぼ良好な一致を示している。しかし、詳細にみると、潮時は大瀬戸以西では計算値の方が10分内外早くあらわれ、流速は一般に少し弱めに出ているようである。しかし、この程度の差はやむをえない。

VII 防潮堤の効果

戸畑泊地外方に300 mの防潮堤を設置した場合の効果を近似的にあらわすため、1つの格子桌で南西 ⇄ 北東の防潮堤に沿う流れのみを許容して計算を行った。格子間隔が200 mなので、この方法は、近似的に $200 \text{ m} \times \sqrt{2} \sim 300 \text{ m}$ の防潮堤の効果をあたえる。計算の結果、防潮堤の1つ沖側の格子桌で流速がかなり増加するが、防潮堤先端から約1000 m以上離れた関門主航路

には全く影響しないことがわかった。

VIII. 航路しめんせつ、埋立の効果

早瀬瀬戸の流速はわずかながら増加し（東流で13 cm, 西流で9 cm）、また壇の浦の潮差はわずかに減少する（満潮位は2 cm低まり、干潮位は7 cm高まる）。すなわち、こゝでは潮流、潮汐とも最大5%程度の影響をうける。一般的にいつて、潮流は航路筋に沿つてはやゝ強まり、その他の場所ではやゝ弱まる傾向があるようである。潮流ベクトルを第2図に例示する。

IV あとがき

この計算を実施するに当つては、第四港湾建設局は、とくに宮崎に計算方法の開発と実施指導を要請した。計算は八幡製鉄株式会社に受託され、同社計算課 台文彦氏らの熱心な協力を得た。同氏らに対しこゝに厚く謝意を表するものである。

