

港湾技術資料

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

No. 290

June 1978

波による海浜流の数値計算の一例

佐藤 昭二
永井 紀彦
小笹 博

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. はしがき	3
2. 海浜流の基本式	3
2.1 基礎方程式	3
2.2 ADI法による差分式	4
2.3 線境界の取り扱い	6
3. 計算の収束性と抵抗係数に関する検討	6
3.1 計算例1 (検討をおこなったケース)	6
3.2 計算の収束性	8
3.3 抵抗係数の与え方	9
4. その他の計算例	12
4.1 計算例2	12
4.2 計算例3 と計算例4	13
5. あとがき	15

Numerical Simulation on Nearshore Current

Shoji SATO*

Toshihiko NAGAI**

Hiroaki OZASA***

Synopsis

Nearshore current caused by wave is one of the most important factors of littoral drift and pollutant dispersion. There is a numerical simulation program of tidal currents due to Alternative Direction Implicit Method in Port and Harbour Research Institute. Two terms have been added to this program, a term of radiation stress and a term of bottom friction due to wave.

To get the stability of calculation, radiation stress has been added gradually. The result has been checked with a model experiment and it has been found that the coefficient of bottom friction should be about 0.03.

Nearshore current has been able to be calculated with enough accuracy by this modification. The distribution of wave height and direction in the calculation area is necessary as input data in this program.

* Depty Director General
** Member of Wave Laboratory, Marine Hydrodynamics Division
*** Senior Research Engineer, Hydraulic Engineering Division

佐藤 昭二 *
永井 紀彦 **
小笹 博昭 ***

要 旨

海浜流は漂砂現象や拡散現象の重要な要因となっているが、これを十分な精度で計算するプログラムはまだ確立されていない。このレポートは、港湾技術研究所の保有するADI法による潮流計算プログラムに、ラディエーションストレスの項や、波による水粒子運動に伴う底面摩擦の項を加えて、海浜流の計算をおこなったものである。

計算の収束性は、ラディエーションストレスをタイムステップごとに除々に増加させて与えることにより、確保することができた。計算結果の妥当性は、先におこなわれた模型実験の結果と比較検討をおこなうことにより、たしかめた。その結果、波による水粒子運動に伴う底面摩擦の係数を大きめにとればよいことがわかった。このような操作によって、実験値と比較的よく一致する計算結果を得ることができた。ただし計算例としては波が海岸線に直角に入射した場合のみを扱った。

1. はしがき

海浜流は漂砂現象や拡散現象の重要な要因となっているが、これを十分な精度で計算するプログラムはまだ確立されていない。¹⁾このレポートは、港湾技術研究所の保有するADI法による潮流計算プログラム²⁾に、ラディエーションストレスの項や、波によって生ずる底面摩擦の項を加えて、海浜流の計算をおこなったものである。

プログラム中の境界は、すべて閉境界または線境界とした。波による海浜流は主として砕波帯内とその近くに生ずるので、沖側境界は十分深い水深にとることとし、また、汀線に直角方向の境界は対象とする部分より十分離して定めれば、一般の海岸に適応できるからである。線境界のパターンは256通り考えられるが、³⁾本プログラム中には、代表的なパターン14通りが組込まれている。複雑な地形の海浜流を計算するときは、新たな線境界パターンをプログラムに組み込まなければならない。

計算の収束性は、ラディエーションストレスをタイムステップごとに除々に増加させて与えることにより確保することができた。計算結果の妥当性は、先におこなった模型実験と比較して検討した。その結果、波によって生ずる底面摩擦力の係数を大きめに評価すれば、計算値と実験値が比較的近い値になることがわかった。

ともあれ、ADI法を用いて潮流を計算するプログラムを修正することにより海浜流を計算することができるようになり、その計算結果も実験値にかなり近いものに

なったので、ここにその結果を報告することにした。

2. 海浜流の基礎式

2.1 基礎方程式

海浜流の計算における未知量は、直交座標を用いたときの鉛直 z 方向の平均水位上昇量 η 、 x 方向流速成分の鉛直方向平均流速 u 、 y 方向流速成分の鉛直方向平均流速 v の3変数である。この3変数を解くために、連続方程式、 x 方向運動量方程式、 y 方向運動量方程式の3式を用いる。

連続方程式は次のように与えられる。²⁾

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{ (\eta+h)u \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (\eta+h)v \} = 0 \quad (1)$$

ただし、 h は水深を示している。

x 方向運動量方程式は重力加速度 g 、海水の密度 ρ を用いて次のように与えられる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gu}{(\eta+h)C_1^2} \\ + C_2 \frac{2Hu}{(\eta+h)T \cdot \sinh(2\pi h/L)} + A_L \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\ + \frac{1}{\rho(\eta+h)} \left\{ \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right\} = 0 \quad (2) \end{aligned}$$

* 次 長

** 海洋水理部 波浪研究室

*** 水工部 海岸地形解析主任研究官

以下、(2)式の各項について説明する。

(1) $\frac{\partial u}{\partial t}$: 加速度項

(2) $g \frac{\partial \eta}{\partial x}$: 静水圧項

(3) $u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}$: 移流項

(4) $\frac{g u \sqrt{u^2 + v^2}}{(\eta+h) C_1^2} + C_2 \frac{2 H u}{(\eta+h) T \cdot \sinh(2\pi h/L)}$

: 底面摩擦項

第一項は、潮流計算などで通常用いられている流れに対する底面摩擦の表示である。 C_1 はシェジエの流量係数でありマニングの粗度係数 n を用いて次のようにあらわした。

$$C_1 = \frac{1}{n} h^{1/6} \quad (n = 0.026 \text{ m}^{-1/3} \text{ sec})$$

第二項は、Longuet-Higginsが波による沿岸流の計算において、波による底面粒子の運動を加味して提案した底面摩擦の表示である⁴⁾。 C_2 は無次元の係数であり、彼は0.01程度の値が妥当であると述べている。 $2H/(T \cdot \sinh(2\pi h/L))$ は、波による底面粒子の時間平均速度であり、 H は波高、 T は周期、 L は波長を示している。

海浜流は波によって生ずる流れであるので、波による水粒子運動を加味した底面摩擦が主要な摩擦力と考えられるが、離岸堤の背後のように波は小さく流れが速いところでは、流れのみによって生ずる摩擦力の方が大きくなると思われる。そこで、本プログラムでは摩擦項として、波による水粒子速度と流れの速度の積に比例する底面摩擦と、流れの自乗に比例する底面摩擦の両者を考慮した。

(5) $A_L \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$: 水平混合項

ここに $A_L = A_K (\Delta S)^{4/3}$ である。 ΔS は格子間隔であり、 A_K は係数で 10^{-2} (CGS単位) のオーダーである。ここでは $A_K = 0.05$ とした。

(6) $\frac{1}{\rho(\eta+h)} \left\{ \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right\}$: ラディエーションストレス項

ラディエーションストレスとは、波によって生ずる過剰運動量フラックスのことであり、海浜流をおこす外力となっている。ラディエーションストレスは、鉛直方向

に積分した値で表現され、二次元のテンソル量となっていて、その値は次のようになる。

$$\begin{pmatrix} S_{xx} & S_{xy} \\ S_{yx} & S_{yy} \end{pmatrix} = \frac{\rho g H^2}{8} \times \begin{pmatrix} n(1+\cos^2\alpha) - \frac{1}{2} & (n/2)\sin 2\alpha \\ (n/2)\sin 2\alpha & n(1+\sin^2\alpha) - \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

ここで、 $\rho g H^2 / 8$ は単位表面積当りの波のエネルギー、 n は群速度と波速の比、 α は波向と x 軸とのなす角である。

y 方向運動量方程式は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{g v \sqrt{u^2 + v^2}}{(\eta+h) C_1^2} \\ & + C_2 \frac{2 H v}{(\eta+h) T \cdot \sinh(2\pi h/L)} \\ & + A_L \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho(\eta+h)} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \\ & = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

各項についての説明は、(2)式と同じなので省略する。

2.2 ADI法による差分式

ADI法については、金子・堀江・村上によって詳しく説明がなされている²⁾。ここでは概略を説明する。ADI法は、explicitとimplicitの表示を x および y 方向について交互に用いているので、誤差の増大を防ぎ計算が安定になりやすいこと、および多元連立方程式を直接解くことなく漸化式を導くことができ計算が簡単なことなどの利点をもっている。図-1はADI法のフローチャートを示したものである。

ADI法は差分法の一つなので、計算領域を格子にわけなければならない。図-2は格子の与え方を示したものである。図-1に示したように計算の前段階すなわち $k\Delta t \rightarrow (k+1/2)\Delta t$ の時間では、(1)、(2)式を連立させて η と u を解いた後(3)式に代入し v を求めるわけであるが、その時の差分式は、 x 方向の成分をimplicitに、 y 方向の成分をexplicitに表示して次のようになる。

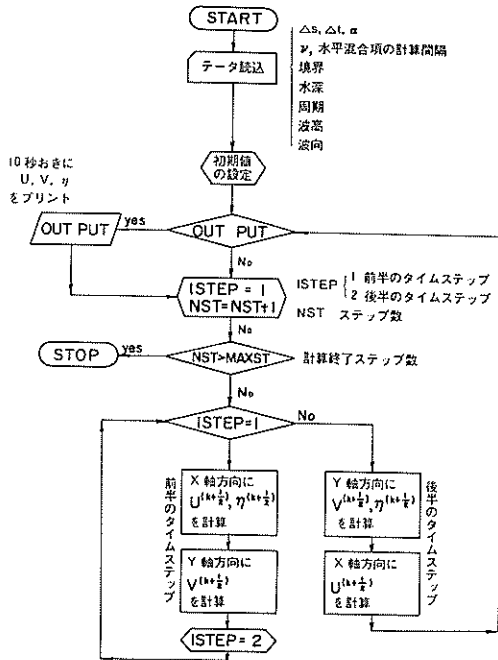


図-1 フローチャート

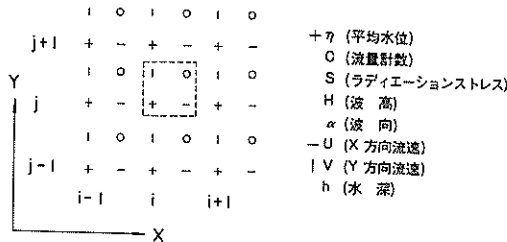


図-2 格子の与え方

(1)式の差分式

$$\eta(k + \frac{1}{2}) = \eta(k) - \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta s} \left[(\bar{h}^y + \bar{\eta}^x(k)) u(k + \frac{1}{2}) \right]_x - \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta s} \left[(\bar{h}^x + \bar{\eta}^y(k)) v(k) \right]_y \quad (4)$$

$$at(i, j, k + \frac{1}{2})$$

(2式の差分式

$$u(k + \frac{1}{2}) = u(k) - \frac{1}{2} \Delta t \cdot \bar{u}(k + \frac{1}{2}) \left\langle \frac{\partial u}{\partial x} \right\rangle^{(k)}$$

$$- \frac{1}{2} \Delta t \cdot \bar{v}(k) \left\langle \frac{\partial u}{\partial y} \right\rangle^{(k)} - \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta s} g \left(\eta(k + \frac{1}{2}) \right)_x - \frac{1}{2} \Delta t \cdot g \cdot u(k) \frac{\sqrt{(u(k))^2 + (\bar{v}(k))^2}}{(\bar{h}^y + \bar{\eta}^x(k)) (C_1^x)^2} - \frac{1}{2} \Delta t \frac{C_2 \cdot u(k) \cdot \bar{H}^x}{T(\bar{h}^y + \bar{\eta}^x(k)) \cdot \sinh[2\pi(\bar{h}^y/L^x)]} + \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta s} A_L \left(\frac{\partial^2 u(k)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(k)}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\rho \Delta s} \frac{(S_{xx})_x + (S_{yy})_y}{(\bar{h}^y + \bar{\eta}^x(k))} \quad (5)$$

$$at(i + \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2})$$

(3)式の差分式

$$v(k + \frac{1}{2}) = v(k) - \frac{1}{2} \Delta t \cdot \bar{u}(k + \frac{1}{2}) \left\langle \frac{\partial v}{\partial x} \right\rangle^{(k)} - \frac{1}{2} \Delta t \cdot v(k + \frac{1}{2}) \left\langle \frac{\partial v}{\partial y} \right\rangle^{(k)} - \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta s} g v(k + \frac{1}{2}) \frac{\sqrt{(\bar{u}(k + \frac{1}{2}))^2 + (v(k))^2}}{(\bar{h}^x + \bar{\eta}^y(k + \frac{1}{2})) (C_1^y)^2} - \frac{1}{2} \Delta t \frac{C_2 \cdot v(k) \cdot \bar{H}^y}{T(\bar{h}^x + \bar{\eta}^y(k + \frac{1}{2})) \cdot \sinh[2\pi(\bar{h}^x/L^y)]} + \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta s} A_L \left(\frac{\partial^2 v(k)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v(k)}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\rho \Delta s} \frac{(S_{xx})_x + (S_{yy})_y}{(\bar{h}^x + \bar{\eta}^y(k + \frac{1}{2}))} \quad (6)$$

$$at(i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2})$$

ここで、 i, j は図-2に示したような x, y 座標点を示し、 $k, k + 1/2$ はタイムステップを示している。添字の x や y の意味は次の通りである。

- \bar{F}^x x 方向の平均値
- \bar{F}^y y 方向の平均値
- $\bar{\bar{F}}$ x, y 方向に4点平均したもの
- $F_{i,j}^{(k)}$ (i, j) 点におけるタイムステップ k のときの値

$(F)x$ x 方向の差分値 $F_{i+1}-F_i$
 ΔF F の増分
 Δs 格子間隔
 Δt タイムステップの間隔

計算の後段階すなわち $(k+1/2)\Delta t \rightarrow (k+1)\Delta t$ のステップでは、 x と y とを入れかえて前段階と同様な計算をする。すなわち、 y 方向成分をimplicitに、 x 方向成分をexplicitに表示して(1)、(3)式を連立させて η と v を解いた後、(2)式に代入し u を求めるわけである。この場合の差分式も、前段階の差分式と同じ考え方で表示されるので、ここでは省略する。

また、水平混合項については、前述港研報告中の潮流計算と同様に、毎回計算するのではなく何ステップかに一度計算させるようにした。本プログラム中では、 Δt を0.5秒とし、水平混合項は10秒ごとに計算した。すなわち20ステップに一度計算した。

2.3 線境界の取り扱い

実際の計算に際しては、陸地、外洋、防波堤などの境界条件を与える必要がある。本プログラムでは、境界を次のように取り扱った。

計算領域の境界はすべて閉境界とした。波による海浜流は主として砕波帯内とその近くに生ずるので、沖側境界は十分深い水深にとることとし、また、汀線に直角方向の境界は対象とする部分より十分離して定めれば、一般の海岸に適応できるからである。

防波堤などの線境界に関しては、計算過程において一度陸地であるとおきかえて計算しなければならない。このとき、差分化をする関係上、線境界の反対側の流速やラディエーションストレスに適当な値を与えなければならない。本計算では、比例的に値を定めるようにしたが、線境界のパターンによっておきかえのパターンが異なってくる。³⁾

図-3は、おきかえの必要な線境界を示している。 u を計算するときには x 軸に沿って計算を進めるが、(5)式からわかるように、計算をする過程で S_{xy} と u に関して y 方向の差分をとらなければならない。このとき、図-3の(b)に示すような4ヶ所が線境界であるためにおきかえの必要がおこるのは、図中の位置の S_{xy} と u である。図中の水深点を結ぶ太実線が線境界を示している。同様に v を計算するときも図-3の(c)に示すような4ヶ所が線境界であるためにおきかえの必要がおこるのは、図中の位置の S_{xy} と v である。そうして、図-3の(a)の点線で囲む格子上の u 、 v を計算するときの線境界の配列のパターンは、2⁸通り存在することになる。

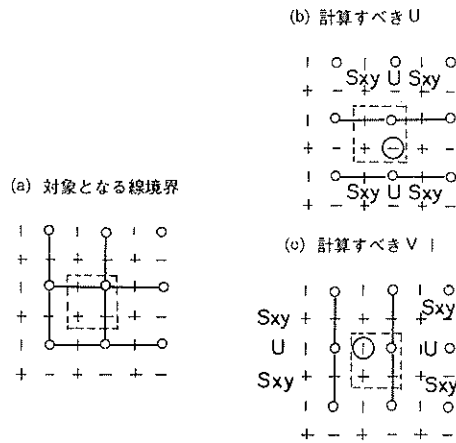


図-3 おきかえの必要な線境界

本プログラム中には、図-4に示すような14種類の線境界のパターンが組み込まれている。この図でIHは線境界のパターン番号を示す。各パターンについて点線で囲む位置の u や v を計算するときに一時的に陸上の点と仮定して値をおきかえるべき u 、 v 、 S_{xy} を丸印で囲んである。なお、線境界上の u 、 v は常に零であるので考慮する必要はない。この他のパターンを含む計算をする場合には、プログラムに新しい線境界のパターンを付加しなければならない。

3. 計算の収束性と抵抗係数に関する検討

この章では、2.で述べたプログラムを用いて海浜流の計算をおこなった過程で生じた問題点と、その解決法に関して述べる。

3.1 計算例1 (検討をおこなったケース)

図-5は、計算例1を示したものである。カギ型堤に沖波波高0.8m、周期3.1秒の波が直角入射したときのケースである。海底勾配は1/30の一樣勾配であり、水深1mのところではカギの部分で汀線と平行に走っている。格子間隔は5mメッシュである。2.に述べたように、陸地との境界、外洋との境界とも閉境界として計算をおこなった。カギ型堤や汀線では完全に消波がなされていると仮定し反射は無視した。波向の入力データは、図-5に示したようにカギ型堤背後では放射状とし、その他のところではすべて直角入射とした。波高の入力データは、図-6の通りである。入力波高データは次のようにして求めた。

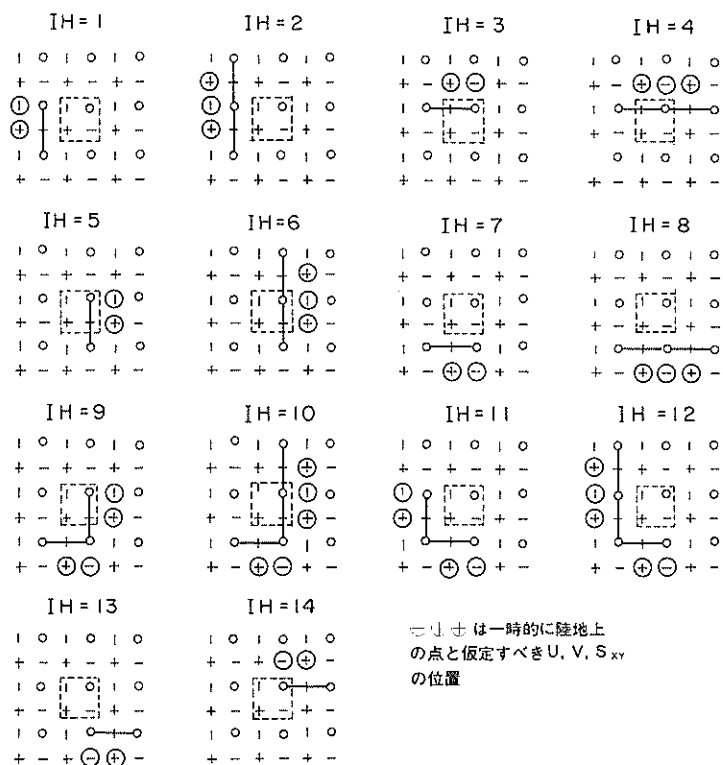


図-4 線境界のパターン

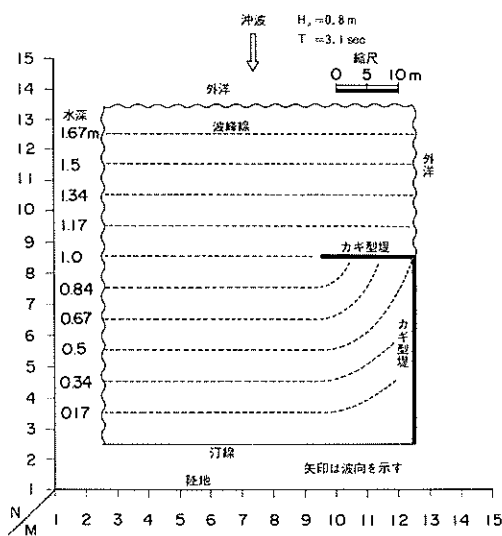


図-5 計算例1の入力データ

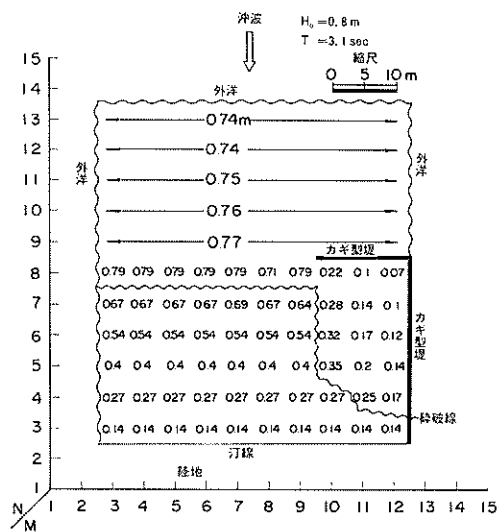


図-6 入力波高分布 (計算例1)

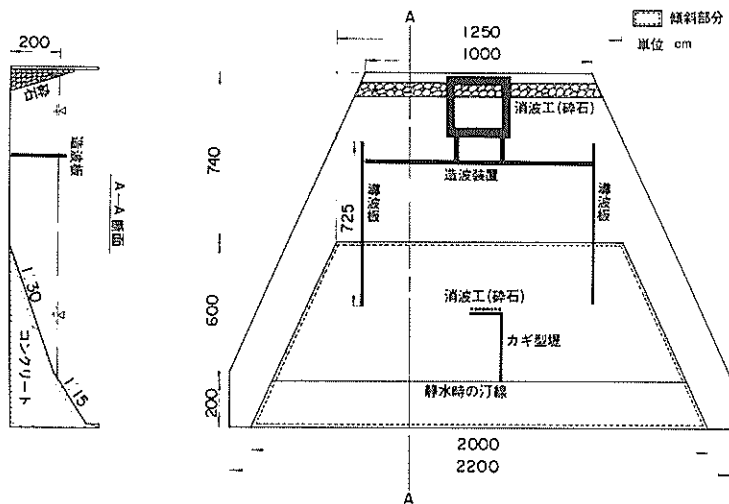


図-7 模型概略図

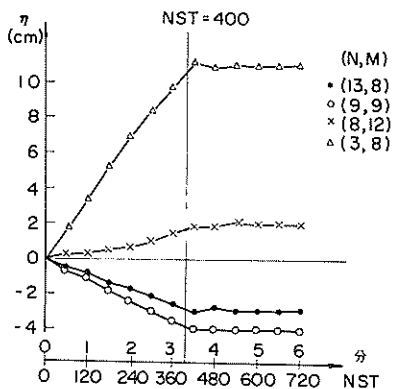


図-8 水位の収束 ($C_2 = 0.03$)

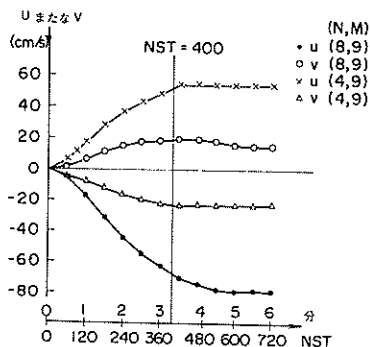


図-9 流速の収束 ($C_2 = 0.03$)

波高 = 沖波波高 × 浅水係数 × 回折係数 (砕波前)

波高 = $0.8 \times$ 水深 (砕波後)

波の砕波点は、波高が水深の 0.8 倍になったところとした。回折係数は森平・奥山による半無限防波堤回折図を用いた。⁶⁾しかし回折波の屈折は考慮していない。

この計算例は、先におこなった模型実験の鉛直および水平縮尺を 10 倍に拡大したものに对应する。逆に考えて計算の諸元を現況とすれば、模型の水平および鉛直縮尺はその 1/10 である。この模型実験は、1976 年に当研究所大型水工実験場でおこなわれたものであり、図-7 に模型の概要を示す。流れの測定はフロート写真解析でおこなった。後述する図-10 は流れの解析結果であり、図-11 は各点の波高測定結果より求めた平均水位の変化量である。なお、この時の砕波は plunging であった。

3.2 計算の収束性

3.1 で示した例について $\Delta t/2 = 0.25$ 秒として計算したところ、解は発散してしまった。計算が安定であるためのタイムステップの条件は、金子・堀江・村上によると次のようになる。²⁾

$$\frac{\Delta t}{2} < \frac{\Delta s}{\sqrt{gh_{\max}}} \approx \frac{5}{\sqrt{9.8 \times 2.0}} = 1.12 \text{ 秒}$$

この条件を満たしていながら発散してしまったのは、ラディエーションストレス項が他の項に比して大きいためだと考えられる。そこで、400 段階にわけてラディエーションストレスを除々に所定の値まで増加させることにした。このようにすると図-8 および図-9 に示すようによい収束を示した。ここで N, M は図-5 などに示

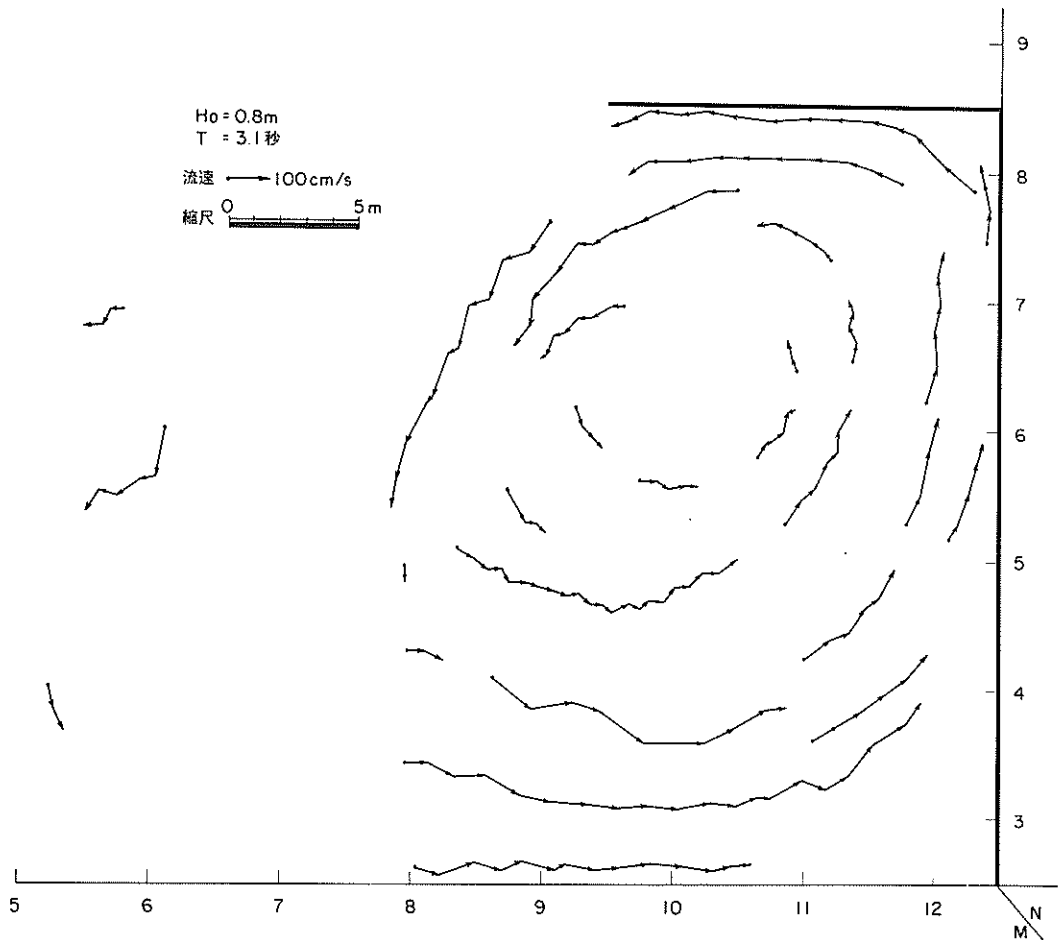


図-1 0 流速図 (実験例 1)

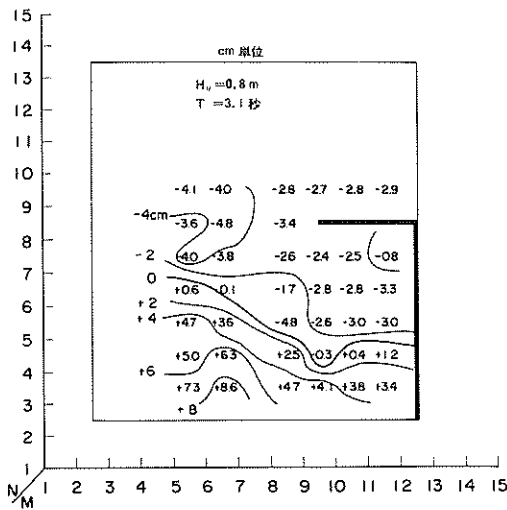


図-1 11 平均水位変化量 (実験例 1)

した x および y 方向の格子番号である。水位および流速とも5分後すなわち600ステップ後には一定の値となっている。

C_2 は(2), (3), (5), (6)式中の波の水粒子運動にもとづく摩擦係数であり、ここでは0.03とおいた。この摩擦係数については次節で述べる。

3.3 摩擦係数の与え方

本プログラムでは解を実験値に近づけるため摩擦係数の操作をおこなった。シェジューの流量係数 C_1 は比較的広く認められているので、²⁾波による摩擦係数 C_2 を操作した。⁴⁾

図-1 0は3.1で述べた実験によって求められた流速図であり実験値を $\sqrt{10}$ 倍して示してある。カギ型堤の内側に反時計まわりの流れが発生しており、最大100 cm/sec程度の流速が見られる。図-1 11は実験によって求められた平均水位の変化量であり、数字は実験値

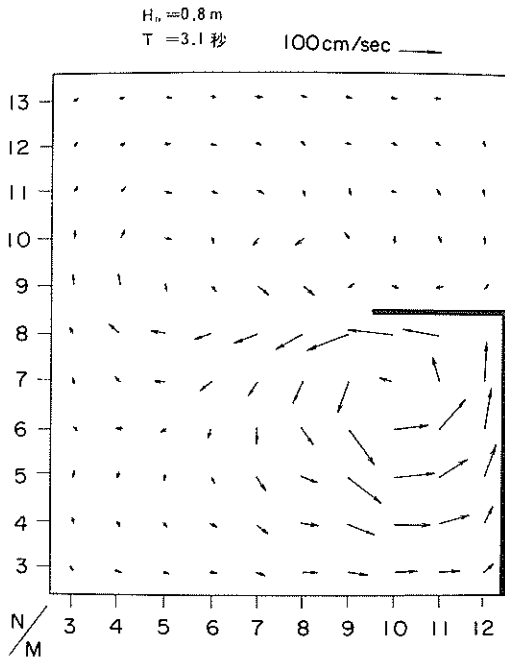


図-12 流速図 (計算例1, $C_2 = 0.007$)

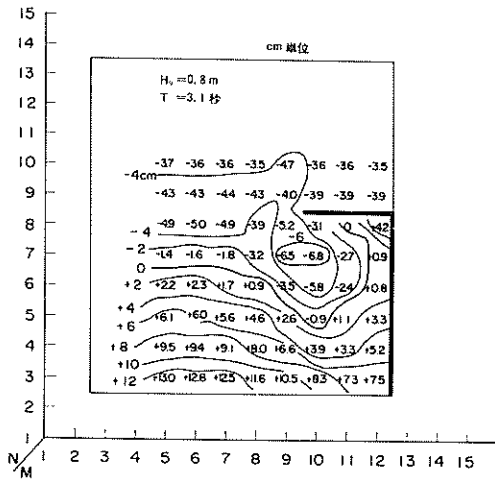


図-13 平均水位変化量 (計算例1, $C_2 = 0.007$)

を10倍した値である。汀線近くでは水位が上昇し沖側では低下している。汀線方向の水位勾配は、汀線近くではカギ型堤に向う方向に、横堤のすぐ内側ではカギ型堤から離れる方向に下り勾配となっている。これらの水位

勾配のパターンが反時計まわりの流速と対応していることとなる。

図-12は波による摩擦係数 C_2 を0.007として計算をおこなった結果の流速分布図である。また、図-13は同じ計算結果の平均水位変化量である。図-12と図-10を比較すると、カギ型堤の背後の回流形状はよく一致しているが、全体的に図-12の方が流速が速すぎるように思われる。また、図-13と図-11を比較すると、図-13ではカギ型堤背後にはっきりした円形状の水位低下部分が見られるが、図-11にはこのような著しい水位低下はあらわれていない。すなわち、 $C_2 = 0.007$ では流れが強くなりすぎている。図-14、図-15は $C_2 = 0.03$ として計算した流速と平均水位変化量である。図-14の流速と図-10の流速とはかなり近い値であるように思われるし、図-15では図-13で見られたような著しい水位低下は見られず、図-11により近いように思われる。すなわち、 C_2 の値としてはLonguet-Higginsらによって提案されている0.007~0.01よりは大きめの値をとる方が、実験値とよく一致することがわかった。また、 $C_2 = 0.02$ の場合も計算をおこなったが、 $C_2 = 0.03$ の場合よりも実

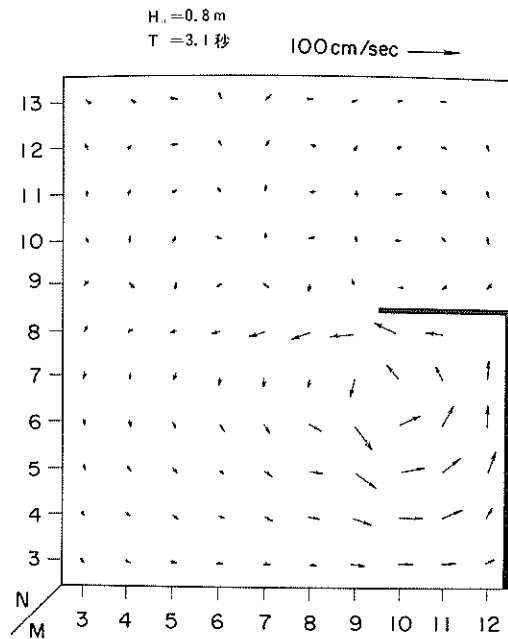


図-14 流速図 (計算例1, $C_2 = 0.03$)

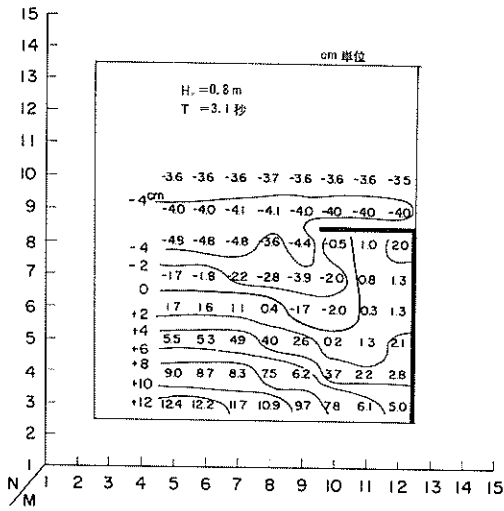


圖-1 15 平均水位變化量 (計算例 1,
 $C_2 = 0.03$)

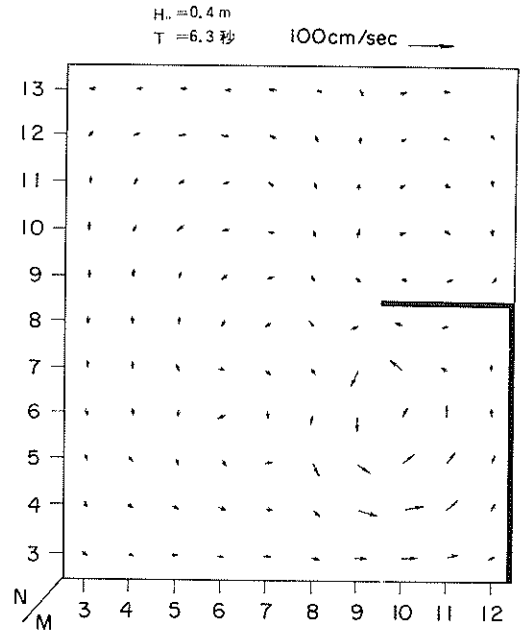


圖-1 17 流速圖 (計算例 2)

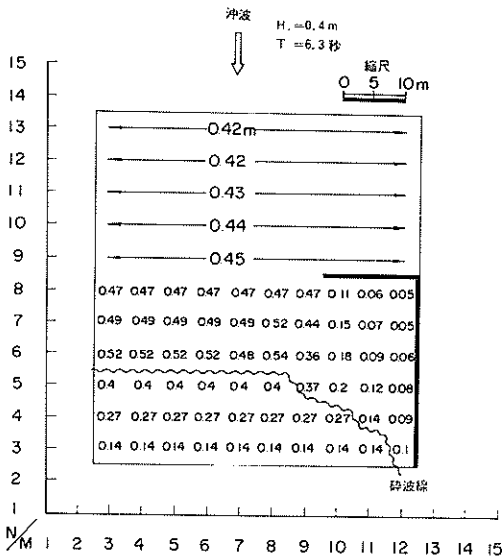


圖-1 16 入力波高分布 (計算例 2)

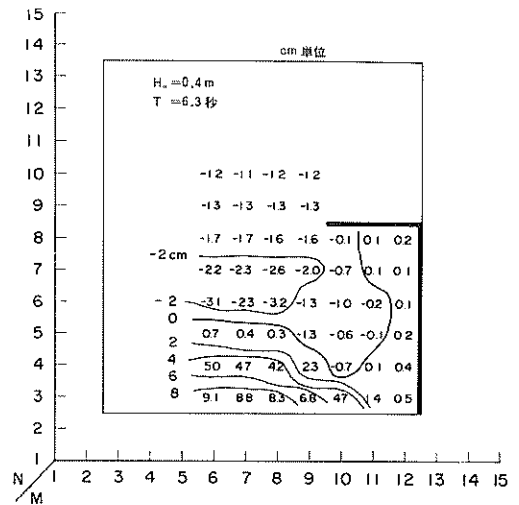


圖-1 18 平均水位變化量 (計算例 2)

験値との一致がわずかに悪かった。そこで、本プログラム中の C_2 の値としては、0.03 を採用した。

このように摩擦係数を操作したことにより、流れの方向および速度については、比較的实验値とよく一致するようになった。しかし、平均水位変化量は、汀線付近で实验値よりもかなり大きい値となっている。これは、碎波帯内の波高を水深の0.8倍と定めたこと、波高分布の計算の不正確さ、計算領域を模型実験領域より狭くしたことなどによるものと思われる。しかし、これらについてはあまり明確でなく、 C_2 の適切な値についてはさらに検討を要する。

4. その他の計算例

4.1 計算例2

計算例2は計算例1の入射波のみを変えたものであり、波高を半分の0.4mにし周期をほぼ2倍の6.3秒にしたケースである。格子各点の波高と波向は計算例1と同様にして求めた。すなわち波向は離岸堤背後では放射状、その他のところでは直角入射と考え、波高は碎波前は沖波波高に浅水係数と回折係数を乗じたものとし、碎波後は水深の0.8倍とした。図-16は入力した波高分布を示す。図-17、図-18はそれぞれ流速および平均水位変化量の計算結果である。図-19、図-20は前述した実験1と同様にして得られた計算例2と同じ条件の実験結果であり、それぞれ流速および平均水位変化量を示す。この時の碎波は実験例1とは異なりspillingであった。

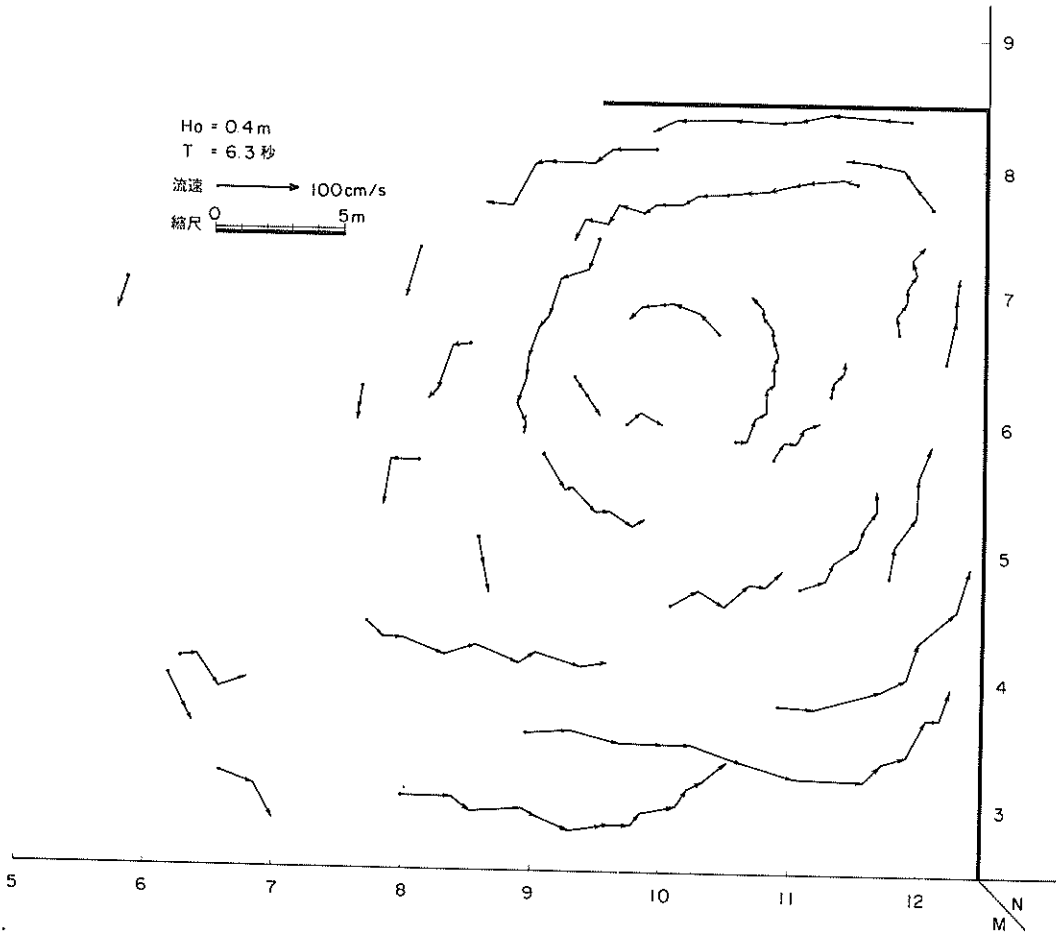


図-19 流速図 (実験例2)

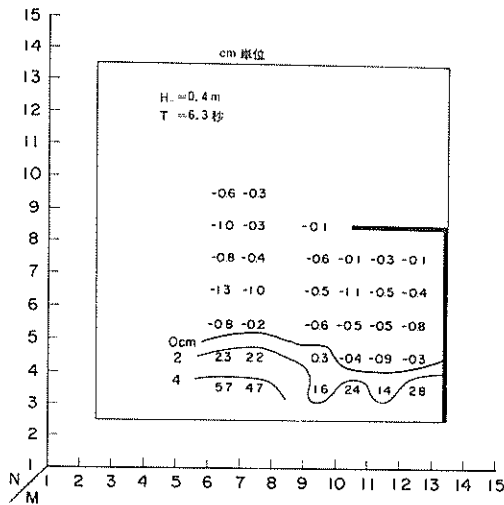


図-20 平均水位変化量 (実験例2)

上述した計算例2と実験例2を比較すると、計算例1の場合とほぼ同じようなことが言える。すなわち、流速は方向および大きさがほぼ一致していること、平均水位上昇量は計算結果が実測よりも大きめにでていることである。また、入射波高の大きさに注目して実験例1(図-10)と実験例2(図-19)の両者のカギ型堤の内側に生ずる廻流について比較すると次のことがわかる。

- (1) 廻流の規模は実験例1の方が大きく、その中心位置は実験例1の方がわずかに沖側に存在する。
- (2) 汀線近くの流速の両者の差は比較的小さいが、その沖側では実験例1の方が一般的に大きい。

(1), (2)の傾向は計算例1(図-14)と計算例2(図-17)の間にもあらわれている。また、一般的に入射波高の減少による流速減少も実験と計算がほぼ一致していると思われる。

4.2 計算例3と計算例4

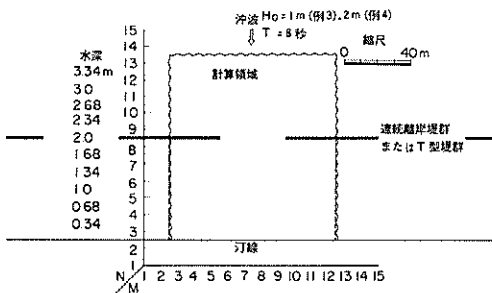


図-21 計算例3, 4の計算領域

計算例3および4は、連続して沿岸方向に並んでいる離岸堤群もしくはT型堤群に波が直角入射した場合である。図-21は計算領域を示している。対称な地形が続くため、図-21に示される範囲のみを考えれば十分である。この構造物群は離岸堤群と考えてもよいし、T型堤群と考えてもよい。なぜなら、離岸堤中央においては沿岸方向に对称なので、沿岸方向の流れは存在しないからである。メッシュの間隔、水深をそれぞれ計算例1, 2の2倍にとったので、海底勾配は計算例1, 2と同様に1/30である。計算例3は、 $H_0 = 1$ m, $T = 8$ 秒の波が来襲したとき、計算例4は、 $H_0 = 2$ m, $T = 8$ 秒の波が来襲したときのケースである。

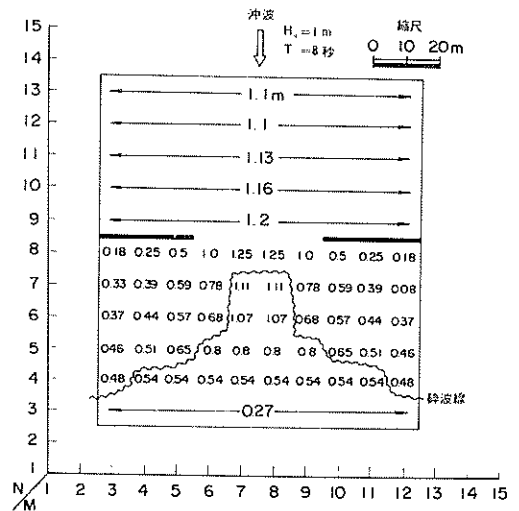


図-22 入力波高分布 (計算例3)

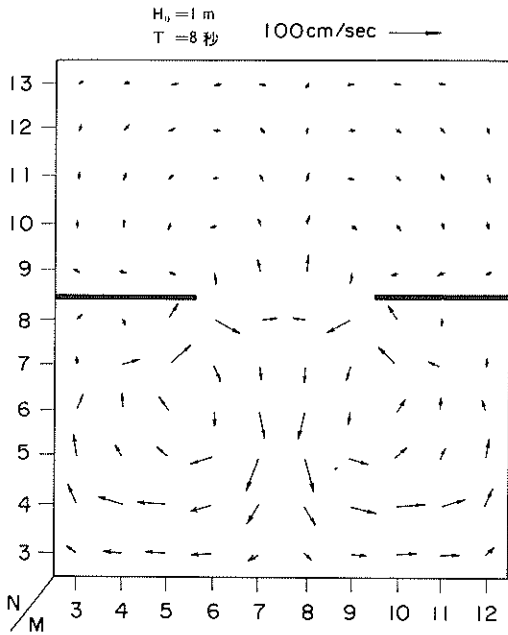


図-23 流速図 (計算例3)

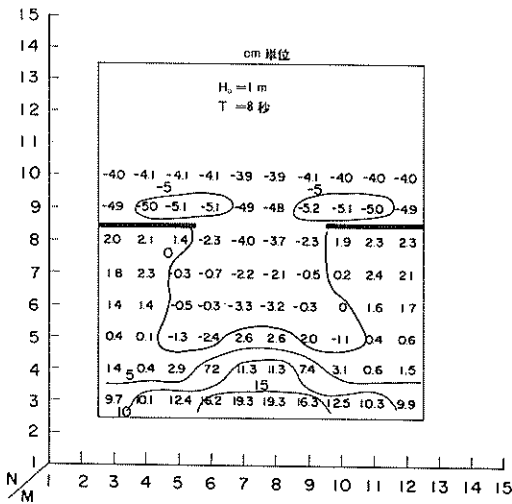


図-24 平均水位変化量 (計算例3)

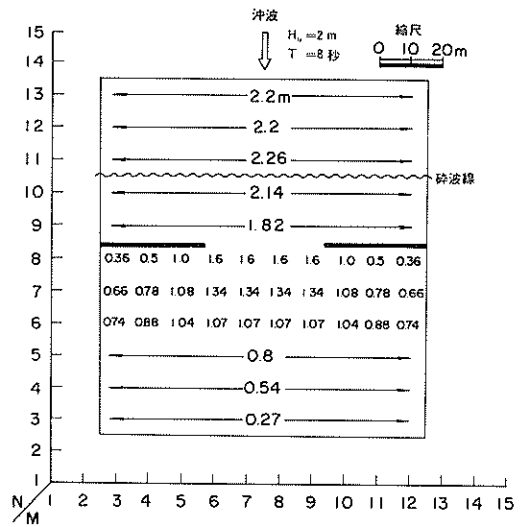


図-25 入力波高分布 (計算例4)

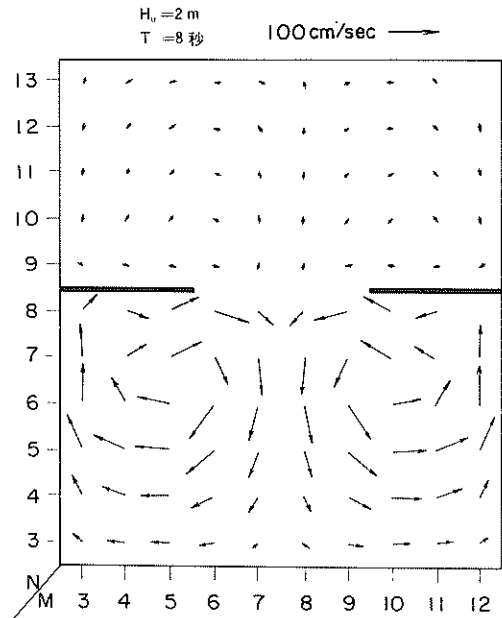


図-26 流速図 (計算例4)

図-22は計算例3の波高分布図であり、計算例1、2と同様な手法で求めたものである。図-23、図-24はそれぞれ計算例3の流速図、平均水位変化図である。これらを見てわかるように、入力データが対称になっているので当然のことであるが流れおよび平均水位は左右対称となっている。

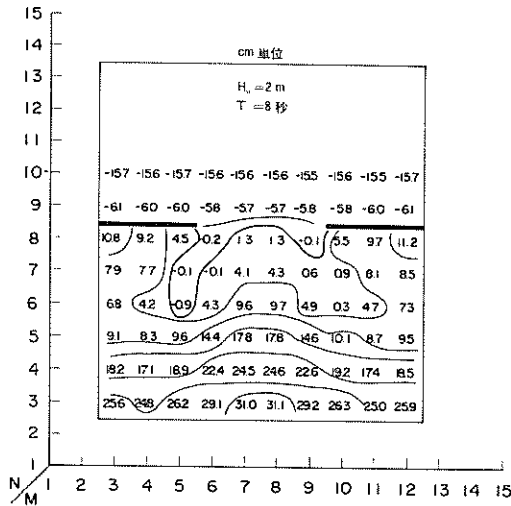


図-27 平均水位変化量 (計算例4)

図-25は計算例4の入力波高分布図であり、図-26図-27は計算例4の流速図、平均水位図である。計算例4も計算例3と同様に左右対称の流れや平均水位があらわれている。

計算例3と計算例4を比較すると、計算例4の方が全体的に流れが速くなっているのは波が大きいので当然予想されることであるが、流速分布の傾向も異なっている。計算例3では汀線付近 ($N=4\sim5$) で流速の最大値がでていたが、計算例4ではそれより少し沖側 ($N=5\sim6$) で流速が最大になっている。また、汀線近くでは両者の流速はほとんど差がないが、離岸堤近くでは計算例4の方がずっと大きい。これは波高の大きさに加えて砕波の位置のちがいによるものである。海浜流が主要な流れとなる領域は主として砕波帯内であるということも、この数値計算結果にあらわれている。

また、水位変化量分布については、汀線での水位上昇は計算例4の方が当然大きい、その付近の水面勾配は両者ほとんど同じである。しかし、離岸堤に沿う水面勾配は計算例4の方がずっと大きい。これらのことは、流速分布の両者の比較とよい対応をなしている。

5. あとがき

ADI法による潮流計算プログラムに、ラディエーションストレスの項と波による水粒子運動に伴う底面摩擦の項を加えて、海浜流計算のプログラムを作成することができた。ラディエーションストレスの与え方や抵抗係数の値に工夫を要したが、比較的实验結果に近い計算結果が得られた。今後の課題としては、次のことが残され

ていると考えられる。

- (1) 本プログラムでは、格子各点の波高および波向を入力データとして与えなければならない。したがって、沖波波高と周期を与えることにより任意地形の各点の波高と波向を与える、波の浅水変形、屈折、回折などのプログラムとの結合が望まれる。
- (2) 本プログラム中のラディエーションストレスの計算では波は微小振幅波の進行波であると仮定し、砕波水深、砕波や回折後の波の変形、反射波の影響などが正しく評価されていない。このため、より正確な波高分布を求めラディエーションストレスのより正しい評価が望まれる。
- (3) 摩擦項のより合理的な表示と、現地観測値や模型実験値による摩擦係数のより正確な評価が必要である。

また、潮流と波が同時に作用するような場合には、計算領域境界の一部を開境界にする必要がある。この場合開境界での潮流制御を水位制御でおこなえば、本計算法をそのまま利用できるであろう。しかし、開境界で流速制御をおこなうとすれば、波による質量輸送や沿岸流の出入に工夫を必要とするであろう。

最後に、計算にあたっては当研究所のTOSBAC-5600を使用したことを付記し、研究を進めるにあたって、当研究所の田中則男潔砂研究室長から多くの貴重な御助言をいただいたこと、計算室の横田慎二技官から計算結果の図化に關しての御指導をいただいたことを、ここに感謝します。

(1978年3月31日受付)

参 考 文 献

- 1) 橋本 宏・宇田高明：海浜流の数値計算法とその応用，第21回海岸工学講演会講演集，1974年，pp 355～360
- 2) 金子安雄・堀江 毅・村上和男：ADI法による潮流と汚染拡散の数値計算——大阪湾に適用した場合について——，港湾技術研究所報告第14巻第1号，1975年
- 3) 堀江・金子・村上・細川・亀山：潮流計算における境界等の取扱い——特にADI法による検討——，港湾技術研究所報告第15巻第2号，1976年，pp 251～287
- 4) M. S. Longuet-Higgins: Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves, 1, Journal of Geophysical Research Vol, 75, No. 33, November 20, 1970, pp 6778~6789
- 5) M. S. Longuet-Higgins・R. W. Stewart: Radiation stresses in water waves; a physical discussion with applications, Deep-Sea Research, 1964, Vol. 11, pp 529~562
- 6) 森平倫生・奥山育英：海の波の回折計算法と回折図，港湾技研資料 No. 21，昭和40年11月

港湾技研資料 No. 290

1978・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
横浜府市長瀬3丁目1番1号

印刷所 阿部写真印刷株式会社

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