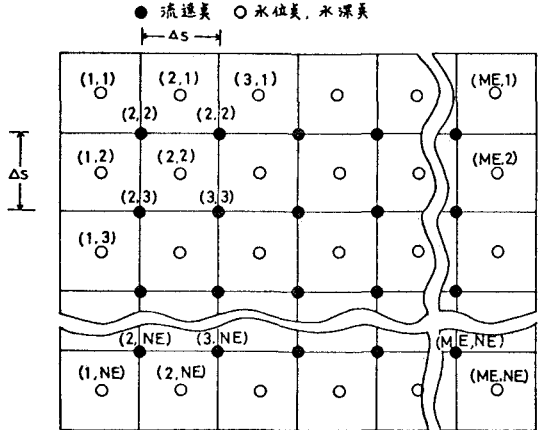


# 波の数値実験の漁港整備計画への適用

山本正昭\*・長野章\*\*・菅原輝男\*\*

## 1. 緒言

漁港施設の配置を計画する場合、港内外の波浪の問題が一つの重要な要素となっている。この波浪状況を予知するために、従来から平面水槽による水理模型実験が行われてきたが、この実験には多額の費用と専用の実験設備とを要し、また実験とその取りまとめには多大な労力とかなりの期間とを必要とする。一方これを数値実験によることが可能ならば、費用、実験期間とも節約でき、大型電算機とプログラムがあれば実験できるという利点があり、漁港の平面計画策定の有効な手段となるものと考えられる。著者らは、波の屈折、回折、反射などを同時に再現できるような波の数値実験システムを実用化するため、その開発に取り組み、一応の成果が得られたので、ここにその解析手法と実際への適用例を報告する。



図一 流速点と水位点の配置

## 2. 解析方法

### (1) 波動数値解析の基礎方程式

数値計算の基礎方程式としては微小振幅長波の以下の式を考え、これを差分化して、ステップ・バイ・ステップで計算を行う。

運動方程式

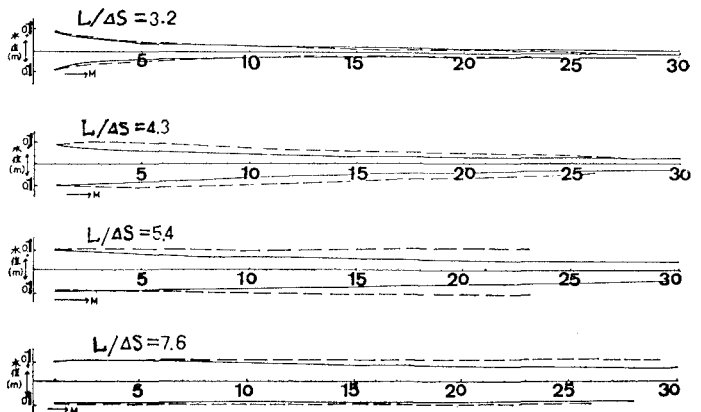
$$\frac{1}{g} \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right) + \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} u = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{1}{g} \left( \frac{\partial v}{\partial t} \right) + \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} v = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

連続の方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $u$  および  $v$ :  $x$  方向および  $y$  方向の流速成分、 $\eta$ : 水位、 $n$ : マンニングの粗度係数、 $g$ : 重力の加速度、 $Q_x$  および  $Q_y$ :  $x$  方向および  $y$  方向の単位幅当り流量、 $h$ : 水深 (時間の関数としない) とする。



図二 距離間隔と波高伝達状況

### (2) 計算メッシュと時間ステップ

計算の流速点を格子点に、水位点、波高および水深のデータを格子の中央に配置したメッシュを組み(図一)、その1メッシュの大きさ( $\Delta s$ : 距離間隔)について検討を行った結果、 $\Delta s$  は波長の 1/7 以下とすることが望ましいことがわかる(図二)。海域と陸域との境界は流速点を繋ぐ格子線上に配置する。また時間ステップは水位計算時点と流速計算時点とを交互に配列する。この場合、計算時間階差( $\Delta t$ ) は計算の安定性から式(4)により

\* 水産庁漁港部計画課  
\*\* 正会員 農業土木試験場水産土木部第2研究室

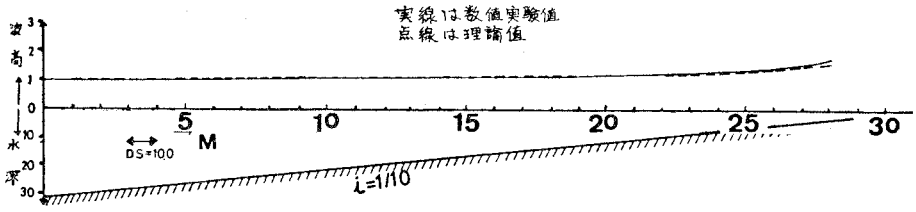


図-3 水深と波高の変化

求まる。ただし、 $c$  は波速である。

$$\Delta t \leq \frac{\Delta s}{1.5c} \dots\dots\dots (4)$$

(3) 波速の整合

式(5)に示す微小振幅波の波速は式(6)の長波の波速との間に差異が生じる。そのため実際的水深の代りに、水深データを換算水深( $h^*$ )に置き換える操作を式(7)で行う。

$$c = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}} \dots\dots\dots (5)$$

$$c^* = \sqrt{gh^*} \dots\dots\dots (6)$$

$$h^* = L^2 / (gT^2) \dots\dots\dots (7)$$

以上の置き換えを行うことにより波速および波長を微小振幅波と整合でき、かつ浅水度係数も誤差が小さいことを図-3により確かめうる。

(4) 波の反射のコントロール

構造物または陸上との境界線では波を反射する場合と

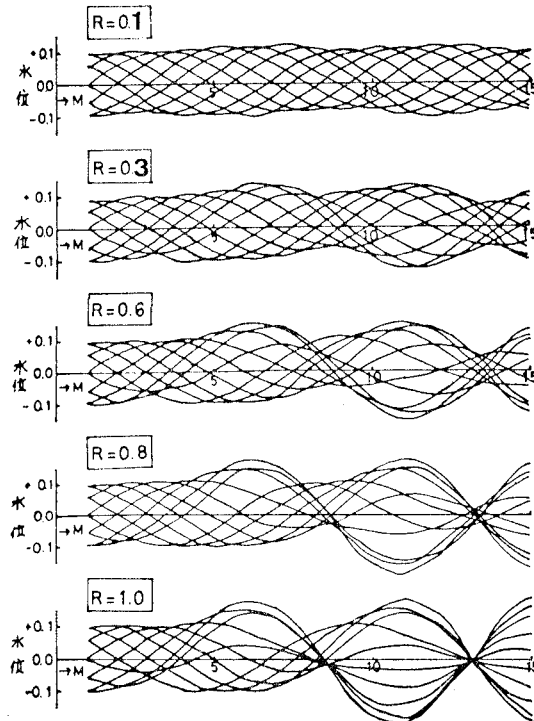


図-4 反射率と波形

消波する場合とがあるが、前者は境界線を横切る流量を零とする。波を反射しない方法としては境界線上で仮想の水深を考え、境界点の流速を前方流速点の流速が伝達時間だけ遅れるように外挿する。たとえば前方の流速点の座標を( $m+1, n$ )とすると、境界点の流速は式(8)で求まる。

$$u(m, n, j) = u(m+1, n, j) + \{u(m+1, n, j) - u(m+1, n, j-2)\} / \Delta t \times \Delta s \times |u| / \sqrt{u^2 + v^2} / \sqrt{gh} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 $j$  および  $j-2$  はある時点とその2ステップ前の時点であることを示し、 $v$  は  $u$  に直角方向の流速成分である。この流速を調節することにより任意の反射率が得られることを確かめている。図-4は反射波形を表わしたものである。

(5) プログラムについて

実験波の波向を設定する方法として

- ① 周壁に造波点を配置し各点の波の位相を順次ずらせる
- ② 波降線に合わせて造波点を配置する。
- ③ ①と②の組み合わせ

の3方法をプログラムで可能にした。

以上のような解析手法を組み込んで、波の平面伝達実験のプログラムを組み立てると図-5のような流れとなる。このプログラムの占有メモリーは小さい方がよいが、メモリーの節約は演算時間の短縮、精度の向上あるいはプログラムの簡素化と時には相反することがあるが、今回は、各格子につき、水深、水位、波高、

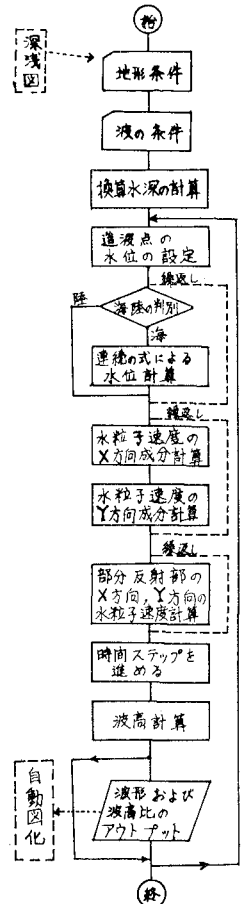


図-5 概略流れ図

X 方向流速 (2 時点), Y 方向流速 (2 時点) の 7 要素を記憶し, その他プログラム部などを合わせると計算実行に必要な記憶容量は格子点数の約 9 倍 (バイト数で約 36 倍) である。

### 3. 波の数値実験の計画方法

#### (1) 数値模型の範囲

数値模型に含める平面的な範囲を設定する場合, 波高を求めたい区域とそれに大きく影響する範囲にある程度の余裕を考える必要がある。たとえば模型中に人工的な境界を設けた場合, それによる波の乱れが生ずるので, 1/2 波長程度の余裕幅を置いて境界を配置しなければならない。造波点から波高観測点までの距離は造波点での反射を考慮すると, ふつう 1 波長以上必要である。

#### (2) 実験に必要なデータ

漁港の数値模型実験を行うには水理模型実験と同様に, 基礎データとして平面図 (1/3 000 程度の深浅図), 実験波の諸元 (波向, 波高, 周期), 実験潮位, 水陸境界部の反射率, 海底摩擦係数などが必要である。これらのデータを基に, 地形をデジタル化するための計算格子距離間隔は模型の範囲で最も浅い所での波長の約 1/7 以下とすることが望ましいが, 砕波する部分や余りに浅い部分は模型で陸地とみなして除外する必要がある。

$\Delta s$  を以上のように決めた場合, 計算時間階差は実験範囲の最深部の波速により式 (4) で決定されるが, 演算回数を減らすため,  $\Delta t$  は大きい方が良く, かつ 1 周期ごとの波高計算のため周期の整数分の 1 とする。

### 4. 数値模型実験の適用例

#### (1) 由良漁港整備計画に関する数値模型実験

この実験では外防波堤からの回折と, 泊地内の反射の問題をとりあげ, 先に行われた水理実験<sup>6)</sup>と比較した。

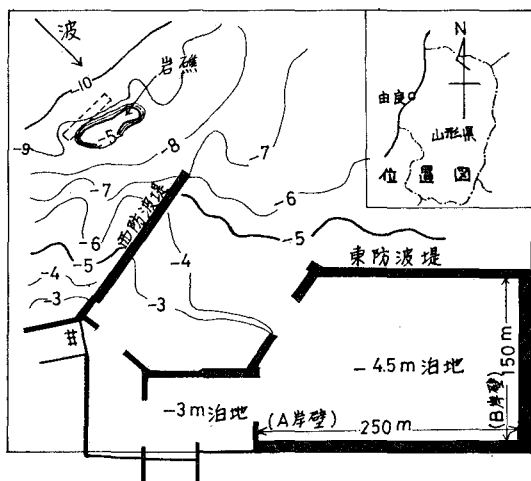


図-6 由良漁港計画平面図

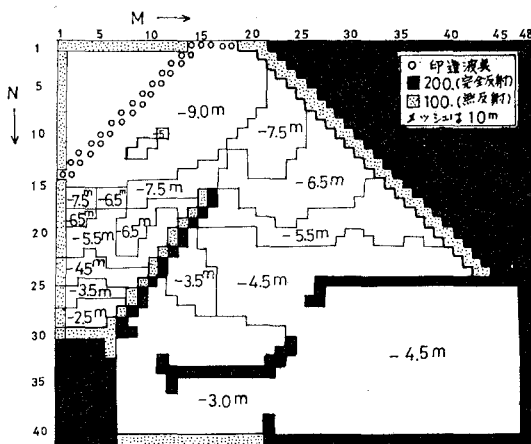


図-7 由良漁港地形データ

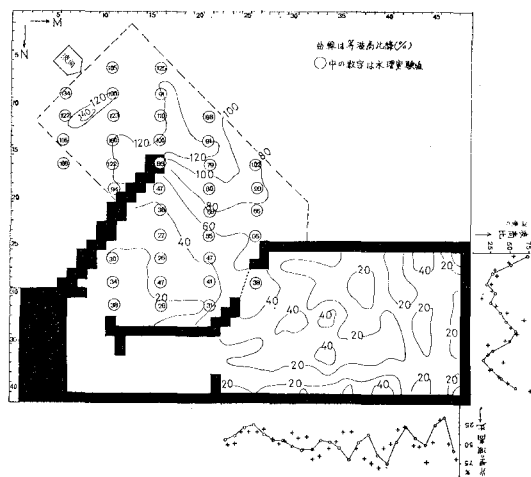


図-8 数値実験より得た波高分布

図-6 は計画平面図, 図-7 は地形データ, 図-8 は計算結果の 1 例を示す。この図の泊地外の波高比は第 1 波目をとらえ, 泊地内については泊地に波が侵入後 85 秒後の波高比を示す。外防波堤周辺について両実験を比較するとよく近似しており, その差は 10% 以内である。泊地についても岸壁部の波高分布で比較すると, よく近似していることがわかる。この模型のメッシュ数は 1 920 (48×40) で, 実験の演算時間は 23 分であった。そのほか, 沖に島堤を設けたケースや岸壁を消波構造としたケースの数値実験も行い良い結果を得ている。

#### (2) 香住漁港整備計画に関する数値模型実験

この実験では島の屈折, 回折に対する影響を問題としてとり上げ, 水理実験<sup>6)</sup>と比較した (図-9~図-10)。水理実験の波高測定点は少ないが, 両実験を比較すると,  $M=49, N=51$  地点の波高比が大きく異なっているほかは, 全体としてよく近似している。この差異は水理実験では白石島の南端の根で砕波した波が島と離岸堤の間か

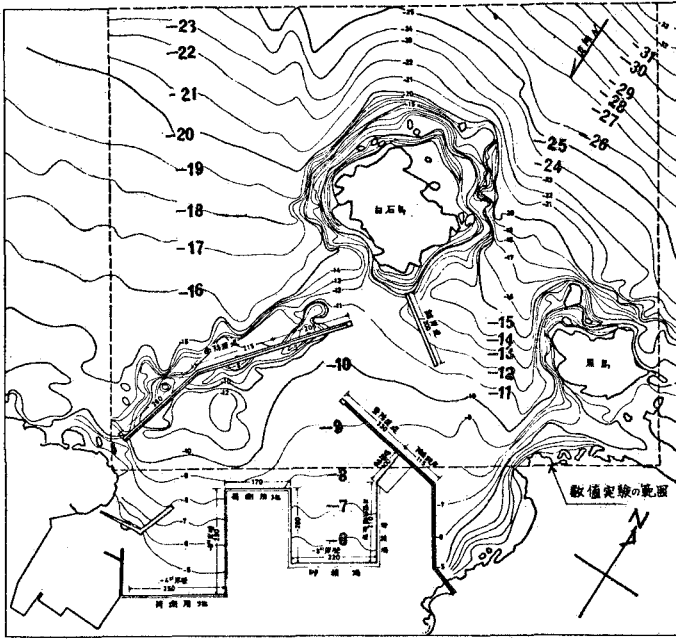


図-9 香住漁港計画平面図

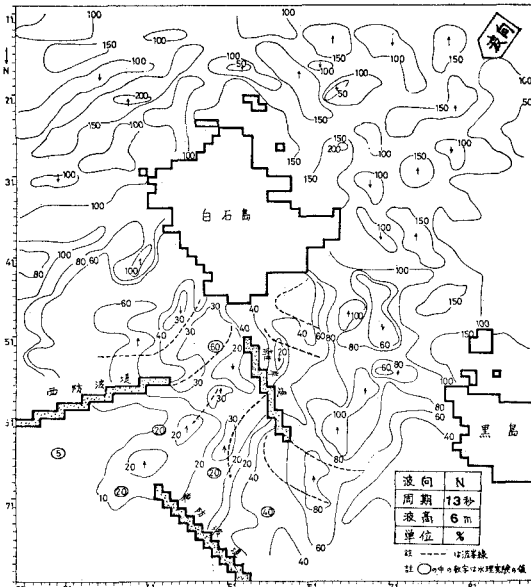


図-10 数値実験より得た波高分布

ら侵入するためと推測される。しかしながら、波高が小さい他の水理実験ケースでは同地点における波高比が

20% と数値実験に近い値を示している。このように碎波の影響がある部分についてはこの数値実験では正しく再現できない。なお、この模型のメッシュ数は7695 (95×81)、演算時間は86分であった。

5. 結 言

この数値模型実験は長波の数値解析を微小振幅波（浅水波）の数値解析に改良し、さらに一般的な波の平面実験に適用できるように発展させたものである。この実験結果と水理実験結果とを比較した結果、この実験法は一般的漁港の波の伝達に関する全般的問題に適用できることがほぼ確認された。

数値実験を実用化するにあたっては、反射率の導入、電算機メモリーの節約、波の条件の任意設定、結果の自動図化<sup>1)</sup>などの配慮を行ったが、さらに反射率の精度を高め、占有メモリーを少なくする

ためにシステムを改良すべく検討中である。

この数値実験にあたっては農林省共同利用電子計算機を使用し、その際ご協力いただいた農林研究計算センターの関係各位に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 白石英彦： 複雑な平面地形における平面流の不定流解析，農業土木試験場技報 F 7号，1972.
- 2) 伊藤喜行・谷本勝利： 数値波動解析法とその応用—構造物周辺の波—，第18回海岸工学講演会論文集，1971.
- 3) 高岡征二郎・平出友信： 港湾構造物への到達波高の算定—数値波動解析法の実用例—，第21回海岸工学講演会論文集，1974.
- 4) 山本正昭・長野 章： 微小振幅波の平面伝達に関する数値解析，農業土木試験場技報 D15号，1974.
- 5) 株式会社 日本港湾コンサルタント： 由良漁港水理模型実験，1973.
- 6) 大阪市立大学： 香住漁港模型実験中間報告，1974.
- 7) 山本正昭： 等高線の自動作図，農林研究計算センター報告 A 第9号，1973.
- 8) 菅原輝男・山本正昭・長野 章： 微小振幅波の平面伝達に関する数値解析(II)，農業土木試験場技報 D 第17号，1975.